

DES DIVERS PROCÉDÉS

DE

FABRICATION DU FER.

CONCOURS UNIVERSITAIRE DE 1850-1851.

Sciences naturelles. (Métallurgie.)

MÉMOIRE COURONNÉ.

DES DIVERS PROCÉDÉS

DE

FABRICATION DU FER,

PAR

AUGUSTE GILLON,

ÉLÈVE INGÉNIEUR A L'ÉCOLE DES ARTS ET MANUFACTURES ET DES MINES
ANNEXÉE A L'UNIVERSITÉ DE LIÉGE.

Extrait des Annales des universités de Belgique.





Bruxelles,

IMPRIMERIE DE TH. LESIGNE,

Rue de la Charité, faubourg de Louvain

1853

ÉNONCÉ DE LA QUESTION

« Exposer les procédés au moyen desquels on obtient le fer et les caractères que ce métal acquiert dans les divers modes d'exploitation en usage chez les différents peuples. »

« Nous aussi nous savons, dans le temps et l'espace,
« Nous frayer, par le Fer, un lumineux chemin;
« Mais l'honneur des combats livrés par notre audace
« Est pur de sang humain. »

Th. Weustenraad, *Le Haut fourneau*

AVANT-PROPOS.

Ainsi qu'elle est formulée, la question nous a laissé quelque temps dans le doute, quant à l'étendue de la matière dont elle nous imposait l'étude. Entendait-on comprendre dans les procédés employés pour obtenir le fer, les opérations que l'on fait subir au minerai pour en retirer le métal à l'état de fonte, ou bien nous incombait-il seulement de décrire les divers modes de travail dont le résultat immédiat est la production du fer malléable ?

La première de ces hypothèses semblait déjà condamnée par l'étendue qu'aurait embrassée le sujet de notre travail; mais il ne

nous appartenait pas de créer une interprétation ; elle devait se trouver dans les dénominations usuelles des traités de sidérurgie : c'est donc là que nous l'avons cherchée et trouvée. Plusieurs ouvrages intitulés *Traité de la fabrication du fer*, ne s'occupent nullement des hauts fourneaux ; les ouvrages, les mémoires sur la métallurgie complète du fer sont tous divisés en deux parties portant pour titre, l'une : *Fabrication de la fonte*, l'autre : *Fabrication du fer ;* enfin, en considérant qu'il est des établissements où l'on ne produit que de la fonte, tandis que, d'autre part, il est des usines qui s'occupent exclusivement de l'affinage de celle-ci, on sort du doute et l'on est convaincu que l'auteur de la question n'a pu demander l'examen des deux industries, en ne désignant que l'une d'entre elles.

Notre tâche étant ainsi déterminée, ce mémoire a été divisé en deux parties, ainsi que la question l'était elle-même, dans son énoncé.

La première partie comprend l'exposé des divers procédés de fabrication du fer en usage chez les différents peuples. Nous n'avons pas cru devoir leur assigner l'ordre chronologique. La raison en est que la valeur de cette méthode n'est réelle que pour autant qu'il ait filiation entre les éléments qu'elle groupe : dans cette circonstance, il se trouve toujours quelques enseignements à recueillir sur la route qu'a suivie le progrès. Le cas ne se présentant pas pour notre sujet, nous avons préféré donner la priorité aux méthodes d'affinage dites *à l'anglaise*, parce qu'étant les plus importantes pour notre pays, elles nous permettaient d'entrer dans les détails qui y sont relatifs, sans tomber dans des redites.

Cette première partie a été divisée en quatre sections :

La *première section* comprend l'affinage de la fonte au coke, au moyen des combustibles minéraux, c'est-à-dire la méthode anglaise et ses variétés.

La *deuxième section* expose la conversion de la fonte au bois, en

fer ductile, à l'aide des combustibles végétaux : ce sont les méthodes *à l'allemande.*

La *troisième section* traite des procédés de fabrication du fer dans lesquels on emploie plusieurs espèces de combustibles : on les nomme *méthodes mixtes.* Nous les avons fait suivre de l'extraction du fer de la ferraille.

La *quatrième section* est consacrée aux méthodes directes par lesquelles on obtient immédiatement le fer de ses minerais.

La seconde partie du mémoire renferme l'étude des caractères que le métal acquiert par les procédés exposés, c'est-à-dire une comparaison raisonnée des divers modes de traitement.

INTRODUCTION.

Le fer, par son abondance dans la nature, par les capitaux que son industrie remue et le nombre de bras qu'elle active, est le plus important des métaux ; il en est le plus utile par les heureuses propriétés dont il est doué. Pas d'art qui ne réclame ses services. On le rencontre sous d'innombrables transformations : dans l'échoppe de l'artisan, on le voit en outils de toutes formes; dans les fabriques, sur les mers, on le trouve régularisant les forces par sa masse et transmettant par sa ténacité des efforts immenses; aux champs, il déchire le sol pour le préparer à la production; il garnit les arsenaux; il ouvre à l'art de l'architecte une ère nouvelle; en s'étendant sur les routes en double ruban, il aidait à rapprocher les distances, en servant l'électricité, il aide maintenant à les supprimer; il est partout où il y a force, partout où il y a mouvement, partout où il y a travail; il est enfin le grand serviteur de l'industrie et l'un des puissants éléments de la grandeur du siècle.

Bien que la nature ait voilé dans les minerais les propriétés du métal, le fer fut néanmoins connu de toute antiquité. « Thubalcaïn, « dit la Genèse (1), sut l'art de travailler avec le marteau et fut « habile en toutes sortes d'ouvrages d'airain et de fer. » Les bas-reliefs des monuments les plus antiques de l'Égypte représentent des forges et tout leur attirail, soufflets, pinces, etc. Les auteurs anciens, Hésiode, Hérodote, Strabon, Diodore en parlent. A cause de la dispersion des minerais sur le globe, il serait difficile de nommer les peuples qui le produisirent d'abord ; mais de tout temps,

(1) *Genèse*, IV, 22. — *Deuter.*, IV, 20, etc.

partout, le fer était connu et utilisé où brillait un rayon de civilisation. C'est avec les développements de celle-ci que se sont répandus dans le monde les procédés do fabrication ; aussi peut-on dire, et aujourd'hui plus que jamais, que la consommation du fer dans un État est une juste mesure de son degré de civilisation matérielle.

La Belgique parut ignorer pendant quelque temps ses vastes richesses souterraines. En 1800, sa production était à peine la cinquantième partie de ce que produisait l'Europe ; mais elle se ressentit enfin de la révolution industrielle opérée en Angleterre par la substitution des combustibles minéraux aux combustibles végétaux. Dès lors, on la voit ouvrir d'abondantes minières dans les provinces de Hainaut, de Namur, de Liége et de Luxembourg, et demander aux dépôts houillers de la Meuse et de la Sambre ce charbon, si bien nommé *le pain quotidien de l'industrie,* et que la nature lui a dévolu avec une si large prodigalité. Pendant que les provinces de Luxembourg et de Namur continuent d'utiliser leurs richesses forestières dans le travail du fer, en 1824, les forges commencent à marcher au coke dans les provinces de Hainaut et de Liége. En même temps, les machines à vapeur, en apportant leur activité aux usines, les affranchissent des cours d'eau, de leurs caprices, de leur puissance restreinte, et permettent d'en établir plus avantageusement lo siége à proximité des mines. Sous ces influences, la fabrication acquiert un développement tel, que la Belgique produit aujourd'hui presqu'autant de fer qu'en produisait l'Europe entière il y a cent ans, et au delà du douzième de co qu'elle en produit aujourd'hui. C'est ainsi que, grâce aux richesses du sol, grâce à l'activité intelligente de sa population et au remarquable réseau de voies de communication qui couvre sa surface, la Belgique se trouve, avec l'Angleterre, au premier rang des nations industrielles.

Toute autre considération réservée, la nature des minerais de notre pays n'est pas propre à l'extraction immédiate du métal, ainsi qu'elle se pratique sur la frontière d'Espagne et de France, dans la Corse et dans l'Italie. Le traitement qui convient à nos mines est celui qui consiste à les fondre dans les vastes appareils nommés *hauts fourneaux*, après les avoir convenablement assortis et, selon

le besoin, débourbés et grillés. Cette fusion peut s'opérer à l'aide du charbon végétal ou à l'aide du charbon minéral, dont on active la combustion par un courant d'air forcé, soit chaud, soit froid. Cette transformation, qui constitue une industrie spéciale, fournit un produit intermédiaire entre le minerai et le fer malléable, et que l'on nomme *fonte* ou *fer cru*. Ce produit est la véritable matière première que traite la fabrication du fer proprement dite; à ce titre, nous en exposerons les propriétés en les envisageant à ce point de vue spécial.

La fonte, telle que la produit le haut fourneau, est une association complexe de fer et de carbone qui contient toujours du silicium et souvent, en diverses proportions, plusieurs des substances suivantes: soufre, phosphore, arsenic, manganèse, magnésium, etc. C'est la présence de ces éléments qui prive le fer de ses plus précieuses propriétés; c'est l'élimination de ces éléments que s'efforce d'accomplir la fabrication du fer.

Le carbone se rencontre sous deux états dans la fonte : à l'état de carbure de fer dissous dans la masse et à l'état de carbone libre ou de graphite. Sous ce rapport déjà, les fontes sont affectées de propriétés différentes; mais ces différences se compliquent considérablement, si l'on envisage la nature du combustible par lequel le minerai a été traité, la température de l'air insufflé et l'allure du haut fourneau.

On nomme les fontes d'après l'aspect de leur cassure : *fonte blanche, fonte grise* ou *fonte truitée*.

La fonte blanche contient tout son carbone en combinaison; celle qui est caverneuse en contient le moins, celle qui est lamelleuse en contient le plus : la proportion, d'après Karsten, ne dépasse jamais 5,25 pour 100. La fonte blanche entre en fusion à 1050 ou 1100°.

La fonte grise contient le carbone, en partie à l'état de carbure de fer répandu dans la masse et en partie à l'état de graphite, sans que pour cela elle en contienne, en somme, plus que certaines fontes blanches. Elle fond à une température de 1100 à 1200°; elle est plus liquide que la fonte blanche et moins facilement convertible en fer ductile, car l'air a moins d'action sur elle.

La fonte qui montre beaucoup de graphite est quelquefois appelée *fonte noire;* elle possède au plus haut degré les caractères des fontes grises.

La fonte truitée est un mélange de fonte grise et de fonte blanche; elle présente dans sa cassure des taches grises sur un fond blanc, ou des taches blanches sur un fond gris. Ses propriétés tiennent le milieu entre celles des deux autres.

Les meilleures fontes d'affinage sont évidemment celles qui contiennent en moindre quantité les matières étrangères citées plus haut; mais de deux fontes également pures, la meilleure sera la moins grise, car elle présentera une décarburation plus rapide, c'est-à-dire une économie.

Pour apprécier la valeur d'une fonte d'affinage, il faut rechercher les circonstances qui, dans sa production, ont pu favoriser l'union du fer et des substances nuisibles. En première ligne, on peut citer la nature du minerai qui, par exemple, peut être phosphoreux et donner une fonte phosphoreuse. Mais, en s'en tenant seulement aux éléments de fabrication qui exercent leur action sur un minerai quelconque, on considérera d'abord le combustible. De ce que le charbon minéral est toujours plus ou moins pyriteux, il suit que les hauts fourneaux qui l'emploient, donneront toujours des fontes sulfureuses En second lieu, la température de ces appareils étant plus élevée que celle des fourneaux au charbon végétal, aura pour effet d'exciter des affinités, de réduire en plus grande quantité certaines substances dont les éléments pourront s'unir au fer. C'est ainsi que les fontes au coke contiennent toujours plus de silicium que les fontes au bois.

D'un autre côté, une allure chaude du fourneau tend à éliminer certaines matières nuisibles, le soufre, par exemple. De sorte que les fontes grises, qui sont toujours produites par une allure chaude, contiendront plus de silicium, plus de manganèse aussi et moins de soufre que les fontes blanches, produites avec les mêmes matières, par une allure plus froide. D'après cela, on comprend que la fonte truitée obtenue dans des circonstances intermédiaires à celles qui viennent d'être énoncées, puisse être très-bonne pour l'affinage. C'est

ce que dit M. Flachat (1) en ces termes : « En France, tous les « industriels ont reconnu qu'il y a bien peu de minerais exempts « de soufre et de phosphore, et ceux qui tiennent à soutenir la « réputation de leurs fers, marchent en fonte grise, ou du moins en « fonte truitée, sachant très-bien qu'ils pourraient payer de la « perte de leur clientèle, les bénéfices immédiats qu'ils réaliseraient « en ne produisant que de la fonte blanche. »

Quoi qu'on fasse, du reste, les fontes au coke seront toujours non-seulement moins pures que les fontes au bois, mais encore plus difficiles à affiner, car les fontes retiennent avec d'autant plus de force le carbone, qu'elles ont été produites à une température plus élevée.

Il résulte de tout ce qui vient d'être dit que l'on ne peut avancer, d'une manière générale, qu'une fonte de telle couleur est préférable pour l'affinage à une fonte de tout autre couleur, attendu que leur pureté relative dépend de la nature des matières et des circonstances dans lesquelles on les a élaborées.

Les résultats donnés par les hauts fourneaux soufflés à l'air chaud amènent une conclusion dans le même sens. L'emploi de l'air chaud détermine une élévation de température dont nous avons dit les conséquences ; or, dans le Staffordshire, on se trouve très-bien d'une chaleur de plus de 300°, tandis qu'en Silésie la fonte devient détestable dès que l'on dépasse 120° à 130°. Qu'est-ce que cela veut dire ? Est-ce une contradiction ? Non. Cela veut dire probablement que les matières employées dans le Staffordshire sont sulfureuses et que celles traitées en Silésie sont siliceuses et terreuses. La fonte d'affinage à l'air chaud n'est pas en faveur dans beaucoup d'usines, et c'est peut-être avec raison, si l'air chaud a été mal employé ; mais ce n'est peut-être aussi que l'influence de l'abaissement de prix amené par l'accroissement de la production.

Par ces dernières lignes, on entrevoit la complexité de réactions que présentent les travaux métallurgiques. C'est là leur caractère dominant : il est le grand obstacle que l'on rencontre à constituer la

(1) Flachat, *Traité de la fabrication du fer*, p. 239.

science métallurgique; aussi trouve-t-on, sur cette matière, peu d'études sûres et coordonnées, peu d'études qui amènent l'esprit à dominer le sujet. Cependant, des travaux nombreux tendent à relever la science métallurgique de cette humilité : on groupe des faits et des remarques; plusieurs sciences s'en occupent, la physique, la mécanique et surtout la chimie, qui, par ses scrupuleuses analyses pose des équations d'où sortent chaque jour des inconnues. Mais de sérieuses difficultés d'appréciation subsisteront longtemps encore, lorsqu'on cherchera à saisir l'ensemble des phénomènes qui se produisent sous l'influence multiple d'un si grand nombre d'éléments divers.

Première Partie.



PREMIÈRE SECTION.

De la méthode anglaise et de ses variétés.

L'Angleterre, en voie d'épuiser le bois de ses forêts pour l'alimentation de ses forges, trouva dans l'emploi du charbon minéral une source immense de richesses. Il faut remonter à l'an 1619 pour en découvrir les premières applications que le succès couronna : c'est à cette époque que lord Dudley établit des forges au coke dans les usines de Worcester. Malheureusement, la vie nouvelle que l'industrie métallurgique devait puiser dans cette innovation, comprimée longtemps au milieu des guerres civiles qui agitèrent ce pays, ne put prendre son essor que vers l'an 1740. Mais, dès cette époque, on voit se développer le germe de prospérité et tout à la fois s'élargir la voie du progrès. C'est ainsi qu'en 1787, alors que sur soixante et dix-sept hauts fourneaux, cinquante-trois marchaient déjà au charbon de terre, ce même combustible commença d'être employé par Cort et Partnell dans l'affinage au four à réverbère, auquel ils adjoignirent bientôt le travail en finerie. Puis, enfin, le laminoir introduit dans les forges, simultanément avec les prodigieuses puissances des machines à vapeur, vint donner à la fabrication du fer un tel développement, que l'Angleterre, jusqu'alors tributaire de la Suède et de la Russie, voit aujourd'hui produire, par une seule de ses usines, plusieurs fois ce que le Royaume-Uni produisait il y a cent ans.

Le continent d'Europe, moins dépourvu de bois que la Grande-Bretagne, ne s'empressa pas d'adopter ses nouvelles pratiques, dont la dispersion rencontrait d'ailleurs des ambages dans la situation politique de l'époque. Par ces raisons, peut-être aussi par une timide prudence des industriels, les procédés anglais pour la fabrication du fer ne s'introduisirent que tard dans notre pays. Une certaine préconisation leur venait cependant des cercles scientifiques : la Société libre d'Émulation de Liége, la première, dans sa séance du 19 mai 1811, promit un prix à celui qui en ferait l'essai en grand dans le département de l'Ourthe ; mais il ne paraît pas que, jusqu'en 1816, aucune tentative ait été faite pour les introduire en France. Leur succès ne fut pas, du reste, partout ce qu'on espérait, et la Belgique seule a pu atteindre, par ses richesses naturelles, aux avantages des usines britanniques. Aujourd'hui, dans tous les pays où la nature a réuni les éléments de fabrication, les procédés anglais se sont établis ; mais la diversité des matières premières elles-mêmes a amené inévitablement une bigarrure de produits affectés les uns de tel vice, les autres de tel autre, et pour lesquels des correctifs efficaces ont dû être demandés à la science : de là, quelques traitements spéciaux dont nous nous efforcerons de rechercher la valeur.

—

La fabrication du fer par la méthode anglaise consiste à transformer la fonte, telle que la fournit le haut fourneau, en fer malléable en barres, en faisant exclusivement usage du charbon minéral. La partie chimique de cette fabrication ou l'affinage s'opère en deux manipulations, qui sont le finage et le puddlage ; la partie mécanique ou la formation des barres s'exécute au moyen du marteau et du laminoir. Tels sont les caractères-types de cette méthode. En passant en revue les diverses opérations dans l'ordre où elles se succèdent, nous aurons occasion d'indiquer celles dont des circonstances particulières peuvent dispenser, ainsi que les modifications que des conditions locales peuvent avoir déterminées.

DU FINAGE.

Le but du finage est de préparer la fonte au coke à l'affinage, par une épuration partielle. A cet effet, on met la fonte en fusion dans un fort courant d'air, on la maintient liquide pendant quelque temps, sous un bain de scories, puis on la refroidit brusquement dans l'eau. On obtient ainsi un produit intermédiaire entre le fer cru et le fer ductile et que l'on nomme *fin métal*.

Le bas foyer où s'opère cette manipulation est représenté en coupe et en plan, par les figures 1 et 2. Il se compose d'un creuset rectangulaire dont le fond, formé de briques réfractaires *A*, *A*, posées de champ, et légèrement incliné de la partie postérieure vers la partie antérieure, est recouvert d'une couche *a*, *a*, de 8 à 11 centimètres d'épaisseur, soit en quartz grossièrement pilé et bien battu, soit en scories. L'emploi du quartz augmente un peu les déchets au premier fondage ; mais la couche pénétrée par le métal acquiert une dureté qui contribue à la conservation du creuset. Les parois verticales sont formées latéralement et derrière le foyer par trois bâches en fonte *b*, *b*, *b*, dans lesquelles circule un courant d'eau froide. Chacune des bâches latérales est recouverte d'une plaque en fonte offrant, vers le foyer, trois échancrures dans lesquelles doivent venir se loger des tuyères. A ces couvercles sont fixées, à tiges et boulons, de grandes plaques en bonne fonte *c*, *c*, appelées *costières*, qui forment intérieurement le revêtement latéral de la finerie jusqu'à la cheminée et que traversent inférieurement les tuyères. Le creuset est fermé sur la face antérieure par une plaque en fonte, présentant au niveau du sol une ouverture *d*, pour la coulée du fin métal et des scories. Plus haut, à la région des costières, se trouvent deux portes en tôle dont l'office est de diminuer la dispersion de la chaleur. Le foyer est surmonté d'une cheminée en briques ordinaires et qui repose sur des assemblages en fonte. Les dimensions communes du creuset sont de $1^m,25$ sur 1 mètre ; quant à la profondeur, elle est généralement de $0^m,18$ pour les fontes très-grises, et de $0^m,22$ à $0^m,24$ pour les fontes blanches et faciles à affiner. Deux bâches en fonte *b'*, *b'*, remplies d'eau, sont destinées à refroidir les outils.

Il est des fineries à quatre tuyères; le plus généralement elles en ont six et rarement on en compte huit. Ce dernier chiffre avait été adopté par les ingénieurs qui pensaient qu'il valait mieux donner beaucoup de vent qu'un vent très-fort; du reste, MM. de Beaumont et Dufrénoy, et après eux MM. Coste et Perdonnet, dans leurs voyages métallurgiques en Angleterre, disent avoir constaté un affinage plus rapide et une qualité de produit meilleure là où la quantité de vent était plus grande. Les tuyères sont alimentées d'après leur emplacement, par la machine soufflante d'un haut fourneau ou par des machines spéciales de 15 à 20 chevaux; elles sont disposées symétriquement, à droite et à gauche, de façon que les vents se croisent sans se couper, ainsi que l'indique la figure; elles sont en tôle, et pour éviter leur dégradation rapide par le feu, on les revêt d'une double enveloppe, dans laquelle on fait circuler un courant d'eau qu'amènent et que remmènent des tuyaux recourbés. A Seraing, on remarque que les costières sont également à courant d'eau. Quant à l'inclinaison des tuyères, elle doit varier avec la facilité d'opérer l'affinage : les fontes difficiles à affiner demandent une faible inclinaison; le contraire est exigé par les fontes tendres. C'est sous l'empire de cette considération que l'inclinaison variera entre 8° et 25°. Leur museau doit pénétrer dans le creuset jusqu'à plonger dans le bain de scories, par ce motif que, s'il était à un niveau supérieur, une partie du vent serait perdue et du combustible brûlerait en pure perte; tandis que, s'il plongeait dans le fin métal, celui-ci pourrait l'obstruer en s'y solidifiant.

D'après ce qui a été dit, il est donc, dans une finerie, deux éléments que l'ouvrier devra modifier, d'après la nature de la fonte qu'il a à traiter; ce sont : la profondeur du creuset et l'inclinaison de la tuyère. La théorie de ces artifices du feu est réservée jusqu'à la Section consacrée aux forges *à l'allemande*, par la raison qu'ils acquièrent dans cette opération une importance plus digne d'être analysée.

Les fontes grises, les fontes truitées, les fontes blanches compactes, à grain fin et serré, sont généralement dures à l'affinage; tandis que les fontes très-parsemées de géodes cristallines et irisées,

les bocages ou carcas mélangés de sable et de laitier, enfin les fontes soufflées ou caverneuses qui proviennent d'une surcharge de minerai dans le haut fourneau, sont réputées tendres et s'affinent trop promptement; ces dernières rendent, comme on sait, un son sourd et leurs gueusets affectent toujours une convexité prononcée. Un fait à noter, c'est qu'un mélange convenable de fontes difficiles à affiner isolément se travaille vite : l'uniformité dans l'assortiment est d'ailleurs une chance de réussite.

Le coke est le seul combustible employé dans cette partie de la méthode anglaise; mais tout coke n'est pas bon à cet usage. On devra rejeter un coke pyriteux, parce que le soufre qu'il contient nuirait à la qualité du produit; un coke cendreux, parce qu'il augmente le déchet en vertu de la silice qu'il contient; un coke anthraciteux, parce qu'il ne brûle pas, mais se réduit en fragments que le vent projette sans les consumer au profit de la chaleur du foyer. Le choix du combustible est important, et il serait préférable de traiter les fontes dures par un coke compacte et non friable, c'est-à-dire donnant beaucoup de chaleur sous peu de volume, tandis que pour les fontes tendres on pourrait employer un coke plus léger sans être friable cependant. Mais, dans les usines, on ne prend pas ces soins.

Pour mettre une finerie à feu, on jette dans le creuset du coke enflammé, on charge en combustible jusqu'à 0^{m},20 ou 0^{m},25 au dessus des tuyères, après quoi on donne un vent faible pour l'allumer. On tasse du sable argileux dans le trou de coulée que l'on nomme aussi *chio*. On garnit la plaque de coulée de poussier de coke afin d'en prévenir la fusion; puis, on procède par petites charges de charbon jusqu'à ce que le foyer soit bien échauffé. Avant de charger la fonte, il est nécessaire de passer d'anciennes scories, parce que, par leur fusion, elles élèvent la température du fond du foyer et empêchent ainsi la solidification de la masse métallique, alors qu'elle est fondue; sans cette précaution, on s'exposerait à devoir mettre hors. Cependant, lors de la mise à feu, on ne peut guère éviter qu'une petite couche de fonte solide ne recouvre le fond, mais son séjour n'y est que momentané; elle s'enlève peu à

peu à mesure que le fourneau s'échauffe, et c'est afin que cette solidification n'acquière pas la gravité d'un accident, qu'on fait d'abord quelques petites coulées pour arriver progressivement à la charge convenablo au roulement régulier. Lorsque la finerie est en pleine activité, on charge de 1,300 à 1,500 kil. de fonte, et ce chiffre peut être majoré lorsque la fonte est facile à affiner. Toute disposition de la charge dans le foyer n'est pas également bonno; il importe, pour la rapidité et la facilité du travail ainsi que pour le déchet, que des morceaux do gueuset ne puissent arriver au fond avant d'avoir subi la fusion. Le mode que la pratique a sanctionné est celui-ci : le coke enflammé ayant été remis dans le creuset, lo combustible neuf ayant été chargé jusqu'au dessus des tuyères, un lit de scories provenant d'une opération précédente ayant été passé pour maintenir la température élevée du fond du creuset et accomplir une action chimique dont il sera parlé plus loin, on dispose la charge composée de gueusets de fonte, mesurant $1^m,25$ de longueur sur $0^m,08$ d'épaisseur, en deux portions, latéralement, de façon à ce qu'ils reposent directement sur les tuyères, et l'on remplit constamment do coke l'espace que laissent entre eux les deux massifs de gueusets lorsque, dans la suite de l'opération, il so manifeste des affaissements.

Les choses étant dans cet état, on donne le vent et on laisse marcher l'opération, sans aucun soin, jusqu'à la fusion presque totalo de la masse. La demi-heure que dure cette phase est employée par les ouvriers à alimenter le foyer de quelques paniers de coke, à arroser les produits du précédent fondago et à laisser s'écouler l'oxcès de laitier qui se trouve dans le fourneau.

Quand le fineur, en sondant avec de petits ringards qu'il introduit par l'enveloppe des tuyères, pour les désobstruer, croit reconnaître que toute la masse a gagné le fond du creuset, il travaille avec un grand ringard pour soulever, sous le vent, les fragments non fondus qu'il rencontre dans le bain métallique et pour détacher les parties accidentellement solidifiées qui forment au fond ce que l'on nomme des *loups* : il parvient ainsi à rendre la fusion complète. Sur ces entrefaites, les tuyères sont devenues brillantes; on doit

les bien dégager afin que le vent qu'elles fournissent ait tout son effet.

A cette phase du travail, le grand secret du fineur consiste à juger, sur l'aspect des scories, de l'état de l'opération, ce qui exige de l'attention et de l'expérience. A cet effet, l'ouvrier plonge un ringard dans le foyer, puis le retire : si les scories qui y adhèrent deviennent tout de suite noires, sans conserver pendant quelques instants la couleur rouge-cerise, c'est un signe que le finage est encore éloigné de sa fin; on continuera donc de laisser la masse s'affiner. Mais si les scories qu'on obtient en sondant dans toutes les parties du fourneau, sont tout à fait blanches et *font l'œil* sur le ringard, c'est-à-dire s'y solidifient d'abord en globules arrondis et refondent quelques moments après en tournant sur l'outil, il est temps de couler. Mais avant de décrire comment se fait la coulée, nous devons faire connaître quelques accidents qui se présentent parfois pendant le fondage.

Nous avons dit plus haut que la profondeur du creuset devait varier suivant la nature de la fonte à traiter. Une fois les dispositions convenables prises, les charges devraient être uniformes si ces dispositions ne s'altéraient pas; mais il en est autrement. La sole du creuset peut s'exhausser par la solidification d'une partie de la fonte; elle peut s'abaisser par la fusion des matériaux qui la composent : de là, une perturbation à laquelle il n'est pas toujours possible de remédier. Considérons les deux cas que nous venons de citer. La formation des loups peut être due à un refroidissement du creuset, qui fait abandonner à la fonte son état liquide, ou bien à un excès de charge. Dans cette dernière hypothèse, voici ce qui se passe : lorsqu'une forte charge a été fondue, le niveau du bain se trouve plus élevé et, par conséquent, plus près de l'orifice des tuyères que lorsqu'il ne s'agit que d'une charge moyenne ; dès lors, le vent agissant plus directement sur le métal peut déterminer un affinage trop prononcé d'une partie du bain qui se solidifie en tombant au fond, par la raison que la fonte affinée est moins fusible que celle qui ne l'est pas. Cet accident se présente surtout avec les fontes tendres, comme on le conçoit aisément. Le remède consiste à diminuer le

chargement suivant; si cela ne suffit pas, on fait un chargement très-faible de fontes les plus difficiles à affiner; si ce traitement est encore inefficace, il faut se résoudre à mettre hors. On arrose alors la fonte avec beaucoup d'eau, afin de la rendre cassante, et on l'enlève au moyen de masses aciérées.

L'abaissement de la sole se produit ordinairement quand on travaille des charges trop faibles de fontes dures. Qu'arrive-t-il, en effet, après la fusion? Que le niveau du bain métallique est peu élevé; que la couche de scories qui le recouvre paralyse, par son épaisseur, l'action du vent; en un mot, qu'il y a stagnation dans l'élaboration : de là, un contact forcément prolongé entre le métal liquide et la sole du creuset et, comme conséquence, détérioration et fusion d'une partie de celle-ci. On remédie à cet accident en surchargeant en fontes tendres, parce qu'elles ont une tendance à louper, et cela réussit presque toujours; mais si le mal était trop grand, il serait préférable de mettre hors, parce qu'avec un trop grand excès de charge on arriverait difficilement à obtenir un bon produit.

Quand le fondage a marché sans accident et que l'aspect des scories annonce que l'opération est à sa fin, on fait la coulée. L'ouvrier ouvre le trou de *chio*, légèrement d'abord, afin de pouvoir ou presser ou retarder la sortie du fin métal, selon les caractères physiques qu'il présente : ainsi, si le fin métal dégage très-peu d'étincelles en coulant, c'est un indice que la fin de l'opération est précipitée; le produit sera peu caverneux et mal affiné; il fondra trop vite au four de puddlage, y demandera plus de travail, et donnera du fer de qualité inférieure avec un fort déchet. Lorsqu'il fait briller un grand nombre d'étincelles blanches et faibles, c'est qu'on est tombé dans l'excès contraire : le fin métal est trop soufflé, il est malléable; au puddlage, il fondra difficilement et aura une tendance à se souder qui empêchera de le travailler assez longtemps pour en séparer les éléments nuisibles. On obtiendra donc de mauvais fer. Mais si les étincelles nombreuses sont assez fortes et lancées au loin en aigrettes brillantes, l'opération a été bien conduite, elle est arrivée à bon terme; le fin métal, caverneux au tiers ou au quart de son épaisseur, se travaillera aisément au puddlage et donnera les

meilleurs résultats, tant sous le rapport de la quantité que sous celui de la qualité du fer.

A sa sortie du foyer, le bain métallique est reçu dans une lingotière en fonte, de forme oblongue et peu haute, où il s'étale en plaque. Après le métal, suivant l'ordre des densités, s'écoulent les scories, dont une partie forme une couche au-dessus de la plaque métallique et dont le reste va se figer dans des rigoles qui lui ont été préparées. Ce sont ces scories, comme nous le verrons bientôt par l'analyse, qui doivent servir aux charges subséquentes.

Aussitôt que la coulée est terminée, les ouvriers s'empressent de remettre le foyer en état et de recommencer un nouveau fondage. Pendant ce temps, le gâteau de fin métal s'est solidifié, mais on l'aperçoit rouge encore après qu'on a enlevé les scories qui le recouvrent, ce qui se fait en arrosant la coulée de plusieurs seaux d'eau froide. Cette eau a aussi pour effet de boursouffler le métal, de le rendre cassant et peut-être de l'épurer quelque peu, car il se manifeste à cet instant un dégagement de sulfide hydrique aisément reconnaissable à son odeur, et c'est afin d'étendre autant que possible ces effets que l'on donne au métal la forme d'une plaque. Bientôt le gâteau a atteint le rouge sombre; on le soulève alors avec des ringards faisant fonction de leviers et, après l'avoir fait reposer sur des rouleaux, on l'entoure d'une chaîne dont une extrémité va s'enrouler sur l'arbre d'un cabestan; à l'aide de cet appareil, on le traîne dans une bâche à eau qui se trouve à la suite de la lingotière.

Pour éviter l'adhérence entre le métal et les parois de la lingotière, on enduit souvent celles-ci d'argile trempée; mais ce mode a le défaut de souiller le fin métal; on lui préfère généralement l'emploi de la chaux.

La durée d'une opération dépend de la nature de la fonte, de la qualité du combustible, de la quantité de vent fournie, etc.; elle peut être moindre de deux heures et s'étendre jusqu'à deux heures et demie; à Couillet, dit M. Valerius, elle a demandé trois heures, lorsque la fonte était difficile à affiner. La texture du fin métal varie beaucoup : quelquefois elle est aussi cellulaire qu'une roche amyg-

daloïde décomposée; quelquefois elle est fibreuse et rayonnée. Sa bonne couleur est le blanc.

Lorsqu'il a été suffisamment refroidi dans la bâche à eau, on le casse, on le pèse et on l'envoie au four à puddler, où nous le retrouverons tantôt.

En jetant un regard rétrospectif sur l'ensemble des manœuvres que nous venons de décrire, on ne peut se dissimuler que l'opération du finage ne soit entachée d'une certaine complication par suite des accessoires de l'appareil lui-même, des accidents qui peuvent survenir, de l'habileté qu'elle exige du maître fineur; d'un autre côté, on ne peut nier qu'elle ne soit dispendieuse, car, pendant le fondage, une partie du combustible brûle au-dessus du bain de métal sans utilité. Un ouvrier habile peut toutefois, en aspergeant d'eau le devant et le derrière du foyer, où se trouve beaucoup de coke en ignition, en diminuer la dépense et se rendre tout à la fois le travail moins pénible : ce qui fait un soin de plus à ajouter à ceux qui lui incombent. Par suite de ces considérations, on a fait, à plusieurs reprises, des tentatives pour retrancher le finage du procédé anglais, dans le traitement de la fonte au coke; mais le travail au puddlage devient long, la décarburation est difficile et l'on ne peut obtenir du fer de bonne qualité. Quelquefois on s'en dispense en partie en puddlant un mélange de fin métal et de fonte; le produit s'en ressent toujours, bien que le fer puisse être de qualité moyenne. Mais si les fontes sont très-pures, l'opération du finage devient superflue; aussi, en France, ne fine-t-on pas les fontes au bois.

Le but du traitement en finerie est, comme nous l'avons déjà dit, un commencement d'épuration, c'est-à-dire une élimination partielle de quelques-unes des matières nuisibles qui accompagnent le fer et dont les principales sont : le carbone, le silicium, le soufre et le phosphore. Quant à l'arsenic et au manganèse, qui ne se rencontrent qu'accidentellement, le premier se conduira toujours comme le phosphore et le second passera tôt ou tard aux scories. L'agent principal d'affinage dont on s'est servi, est l'air atmosphérique que fournissent les tuyères et qui procède par voie d'oxydation des éléments à éliminer. D'après M. Sefström, l'air suroxyde d'abord les

scories, qui transmettent ensuite aux matières étrangères qui accompagnent la fonte, l'oxygène qu'elles ont reçu; de cette façon, les scories se trouvent être le véhiculo de l'élément oxydant. Nous nous étendrons sur cette théorie en traitant des réactions au four de puddlage.

Pour détailler les modifications que fait subir le finage, on ne peut mieux faire que do comparer l'analyse d'une fonto à celle du fin métal qu'elle a produit, et le tableau suivant en fournit trois exemples :

	Fonte tendre.	Fin métal.	Fonte dure.	Fin métal.	Fonte moyenne.	Fin métal.
Soufre	0122	0163	0026	0072	0062	0076
Silicium	0254	0075	0534	0100	0166	0070
Phosphore.	0099	0024	0070	0000	0062	0003
Fer et charbon (par diff.) .	9525	9738	9370	9828	9710	9851
	10000	10000	10000	10000	10000	10000

Les résultats du finage sont donc ceux-ci :

Le soufre peut, en partie, avoir été brûlé par l'air, mais la proportion qu'en contient le fin métal n'est pas moindre quo celle qu'en renfermait la fonte; souvent même, elle est plus grande. Cette circonstance a évidemment sa cause dans la qualité pyriteuse du combustible minéral employé;

Le silicium, en partie transformé en silice, a passé aux scories; l'autre partie reste dans le fin métal, soit combiné, soit à l'état de laitier;

Le phosphoro disparaît souvent en totalité, et c'est là l'avantage le plus grand de l'opération; c'est ce qui la rendra toujours complétement indispensable lorsque les fontes contiendront du phosphore;

Le carbone enfin, au dire de M. Karsten, ne diminuerait pas par le finage et pourrait même augmenter. M. Karsten entend évidemment parler du carbono combiné et non du graphito qui disparaît toujours; néanmoins, cette assertion n'est nullement d'accord avec les analyses de M. Berthier, desquelles il résulte que le fin métal ordinaire ne retient que 12 à 15 millièmes de carbone, ce qui lui

donnerait une composition semblable à celle de l'acier fondu brut dont il a d'ailleurs la texture et avec lequel il partage la propriété de se tremper, tout en étant dépourvu de sa malléabilité, surtout à chaud.

Pour produire ces effets, l'air atmosphérique est aidé par les scories. Il s'élève naturellement cette question : quelles sont celles que le fineur doit employer de préférence? Laissons répondre l'analyse :

	A.	*B.*
Soufre	0062	0040
Acide phosphorique	0292	0262
Silice	2880	2530
Protoxyde de fer.	5940	6502
Protoxyde de manganèse.	0360	0222
Chaux	0290	0144
Magnésie	0170	0208
	9994	9908

A représente la composition d'une scorie qui coule pendant le travail, immédiatement après que la fonte soumise à l'affinage est tombée dans le creuset;

B est la composition d'une scorie de la même opération, qui coule avec le fin métal après que l'affinage est terminé.

Le choix n'est pas embarrassant : la scorie *B*, moins chargée de soufre, de phosphore et de silicium et surtout plus riche en oxyde de fer que la scorie *A*, sera seule conservée et utilisée. On pourrait encore employer les scories des cinglages, qui contiennent en grande proportion de l'oxyde de fer des battitures, mais on devra éviter de se servir de celles du puddlage, en vue de la quantité de silice qu'elles renferment.

Une finerie à six tuyères, bien montée, peut produire environ 20,000 kil. de fin métal en vingt-quatre heures. Elle emploie un maître fineur, deux aides, un ou deux manœuvres; ces derniers sont inutiles pour un foyer à quatre tuyères. La consommation peut être notée de 300 ou 400 kil. de bon coke par tonne de fonte moyennement affinable. Le déchet qu'emporte le finage est de 10

à 15 p. % pour les bonnes fontes ; il peut s'élever jusqu'à 30 p. % pour de très-mauvaises fontes. Nous citerons comme influences sur le déchet : l'habileté de l'ouvrier; la pression du vent qui, lorsqu'elle est insuffisante, fait languir l'opération et augmente les cendres siliceuses en augmentant la dépense de combustible ; les qualités de la fonte ; la qualité plus ou moins cendreuse du coke ; enfin le mode de moulage, car si du sable adhère aux gueusets, il se scorifiera en silicatant du fer.

Cette observation, que la plus grande partie du déchet vient de la neutralisation de la silice par le fer oxydé, a donné lieu à une heureuse application des théories chimiques. A Decazeville (Aveyron), on produisait de la fonte qui, au finage, subissait jusqu'à 28 p. % de déchet. Dans cet état de choses, l'administration de l'usine chargea M. Thomas (1) d'y porter remède. Ce chimiste, après s'être rendu compte de la formation des scories, essaya de substituer à l'oxyde de fer une base plus forte dans l'ordre des affinités. Après quelques essais sur la quantité d'ingrédients à ajouter, trois séries d'expériences furent faites sur la même fonte, afin de les rendre comparables : d'abord sans addition ; ensuite, avec addition d'un minerai de fer calcaire, sur le pied de 3,5 kil. environ pour 100 kil. de fonte ; en troisième lieu, avec addition d'un minerai de manganèse, sur le pied de 3 kil. à peu près, pour 100 de fonte. Voici les résultats que l'on constata au finage :

	POUR 100 DE FONTE. DÉCHET.	POUR 100 DE FIN MÉTAL. COKE BRULÉ.
Sans addition	20,36	70,00
Avec le minerai de fer calcaire. .	14,86	70,40
Avec la mine de manganèse . . .	14,27	63,30

Nous devons mentionner que le fin métal obtenu par ce procédé d'addition n'exige pas plus de travail dans les opérations suivantes, que l'on ne consomme pas plus de combustible pour obtenir le fer fini et que sa qualité n'est pas moins bonne. Voici, du reste, les résultats moyens de quatre expériences faites dans chacune des trois

(1) *Annales des mines*, 3e série, t. III, p. 465.

séries par M. Thomas; les chiffres représentent les déchets supportés par 100 de fin métal :

ADDITION.	Au puddlage.	Au 1er corroyage.	Au 2e corroyage.	QUALITÉ DU FER FINI.
. . . .	18,70	10,71	8,73	Fer bon, tenace et nerveux.
Minerai de fer calcaire.	18,90	10,24	7,93	Cassure plus fibreuse et plus homogène que le premier.
Minerai de manganèse.	16,51	8,67	6,66	Fer supérieur, nerf très-apparent et très-bien soudé.

Le manganoxyde, outre qu'il restreint plus les déchets que la chaux, a encore sur celle-ci l'avantage de donner des scories plus fluides, tandis que le calcaire les épaissit toujours. Dans quelques usines, au Creusot, par exemple, il est certaines fontes pour lesquelles l'emploi de ce dernier ingrédient a toujours été très-utile; en Angleterre, d'ailleurs, la chaux a été employée, non pas comme l'a fait M. Thomas dans le but de diminuer le déchet, mais dans un but de désulfuration et de déphosphuration du fin métal. Ce dernier résultat peut être également atteint par la mine de manganèse, ainsi que l'établit le tableau suivant (1) ·

	A.	*B.*	*B'.*	*B''.*
Soufre	0062	00765	0031	00315
Silicium	0166	00695	0043	00395
Phosphore	0062	00030	Traces indosables.	Traces sensibles.
Fer et charbon. . . .	9710	98510	9926	99290
	10000	100000	10000	100000

A représente la fonte qu'on a soumise à différents finages;

B est un fin métal, obtenu de la fonte *A*, sans addition;

B' est un autre fin métal obtenu de la même fonte, avec la même addition de minerai de fer très-calcaire que précédemment;

B'' est un troisième fin métal obtenu de la même fonte, en y ajoutant la même proportion de minerai de manganèse que plus haut.

Il résulte donc de ces traitements spéciaux, une élimination très-notable de soufre.

(1) *Annales des mines*, 3e série, t. III, p. 179.

Emploi de l'air chaud.

On a tenté d'employer l'air chaud dans quelques fineries, entre autres aux forges de Terre-Noire près de Saint-Étienne (Loire), à Kœnigshütte en Silésie, et dans quelques usines d'Angleterre. Ces essais n'ont eu aucun succès, et on a reconnu que l'opération durait plus longtemps, consommait plus de combustible et ne donnait qu'un fin métal mal préparé. Voici, du reste, ce qu'en dit M. Gruner dans la relation de son voyage : « Après avoir donné l'air chaud dans les « mazeries de Kœnigshütte, on observa qu'on ne pouvait travailler, « chaque jour, que pendant cinq heures de suite, parce que le « creuset devenait trop chaud ; il se remplit de crasse et la fonte « ne blanchit plus. »

DU PUDDLAGE.

Transformée en fin métal par le finage, la fonte, pour arriver à jouir des propriétés du fer ductible, subit, dans un four à réverbère, une décarburation et un complément d'épuration qui constituent l'affinage proprement dit. Cette manipulation porte le nom de *puddlage*.

Un four à puddler comprend un *foyer* et une *sole* recouverts d'une même voûte très-surbaissée, à la suite de laquelle s'élève la *cheminée*. Celui que représentent, en élévation, coupe et plan, les figures 3, 4 et 5, est à deux soles ; la petite sole *s, s*, sert à chauffer la fonte avant de la traiter sur la grande sole *S, S;* cette disposition fournit une économie, puisqu'on utilise des flammes perdues. Dans les fours à une sole, qui sont encore les plus répandus, la cheminée occupe la place de la sole de réchauffage. Le combustible y est entièrement séparé de la matière à traiter par un petit mur *a*, nommé *autel* ou *pont*, dont les dimensions varient, suivant la grandeur des fours, de $0^m,70$ à $1^m,00$ pour la longueur et de $0^m,15$ à $0^m,20$ pour la hauteur au-dessus de la sole. Le chauffage s'opère par la flamme du combustible qui, après avoir passé par dessus le pont, vient agir directement sur la matière déposée sur la sole ; une prétendue réverbération qu'effectuerait la voûte, a déterminé le nom de ces fours

qui, cependant, seraient plus exactement appelés, selon la dénomination allemande, *fourneaux à flammes* (WEISSOFEN). Ce moyen calorifique indique assez que l'on y brûle des combustibles à longue flamme : le plus généralement employé est la houille ; selon sa nature, quelques dimensions des fours doivent varier. On doit chercher à chauffer le plus également possible toutes les parties de la sole : il suit de là, que la sole sera plus longue ou plus courte selon la flamme du combustible ; ou bien, que la distance de la grille au niveau du pont augmentera ou diminuera selon que la houille sera plus ou moins grasse : elle pourra ainsi varier entre $0^m,42$ et $0^m,55$. De même, la hauteur de la voûte, qui souvent compte au-dessus du pont $0^m,45$, devra être relativement plus élevée alors qu'on fera usage d'une houille plus grasse. Dans le but d'épuiser autant que possible la chaleur de la flamme sans nuire toutefois au tirage, on abaisse la voûte vers la cheminée, ainsi que l'indique la figure, on y rétréeit la sole, on force la flamme à franchir un petit autel *b* et à s'incliner dans un rampant *c* avant de gagner la cheminée *d*. Le reste de chaleur qu'elle emporte à cet endroit est utilisée, comme on l'a dit, dans beaucoup d'usines, soit à chauffer la fonte avant de la traiter sur une seconde sole *s*, soit encore à lécher les parois d'une chaudière de machine à vapeur. Cette économie, venue du Staffordshire, existe depuis vingt ans dans notre pays, à Couillet, à Marchienne-au-Pont, etc. On dispose quelquefois un galet en fonte *g*, roulant sur une barre de fer et auquel on suspend une chaîne. Au moyen de cette chaîne et d'une pelle, on transporte la fonte rougie de la porte *p* devant la porte *P*.

A la chute du rampant, se trouve le *floss* ou trou de coulée servant à l'évacuation des scories qui coulent de la sole, et afin de les maintenir dans un état de liquidité qui permette à l'ouvrier de les enlever aisément, on fait un petit feu sur une plaque de fonte qui se trouve au bas du plan incliné du rampant. Les cheminées ont de 10 à 14 mètres de hauteur ; elles portent à la partie supérieure une plaque en fonte ou registre que l'on ouvre ou que l'on ferme selon que l'on veut activer ou ralentir le tirage ; la section varie de $1/_5$ à $1/_7$ de la surface de la grille. On voit souvent en Angleterre plusieurs

cheminées réunies en une seule : cette disposition procure une économie dans les réparations.

La chauffe est alimentée de combustible par une ouverture *t* nommée *tisard* ou *tocquerie*, située sur la face antérieure du four et qui, pour plus de commodité, se trouve évasée en dehors; on la bouche avec du poussier. Les barreaux de la grille sont mobiles, afin qu'on puisse en faire tomber les escarbilles en les éloignant et en les rapprochant. Le fond du cendrier *f* en est éloigné d'un mètre.

Les dimensions de la sole doivent être telles que chacun de ses points soit accessible à un ringard introduit par la porte; elles varient, selon les fours, entre $1^m,15$ et $1^m,62$ de grande largeur et entre $1^m,55$ et $2^m,30$ de longueur. La maçonnerie est en briques réfractaires et consolidée par une armature en fer.

Les parois qui entourent la sole peuvent présenter plusieurs modifications. Les fours anciens sont à parois pleines; on en rencontre encore dans l'arrondissement de Liége, notamment à Seraing. La plupart des autres fours offrent, ménagé dans la paroi et dans l'autel, un couloir *h* dans lequel circule un courant d'air; c'est ainsi que sont les fours de l'arrondissement de Charleroy et de plusieurs localités du pays de Liége, entre autres ceux d'Ougrée; ils sont dits : *fours bouillants*. Les avantages des fours à courant d'air consistent dans une détérioration moindre de l'appareil et en ce que certaines fontes y sont plus facilement maintenues à l'état pâteux, ce qui facilite le traitement. On leur a quelquefois attribué le mérite d'améliorer le fer; mais il est probable que ce résultat ne provenait que de la présence de pierres calcaires dont on garnissait les plaques de fonte qui ferment le couloir du côté de la sole, dans le but d'éviter le contact avec la fonte ou le fin métal liquide. Enfin, une troisième variété de fours est semblable à la précédente, avec cette différence qu'un courant d'eau remplace, dans un corridor, cette fois tout en fonte, le courant d'air. L'usine de Grivegnée possède de ces fours, qui y sont dénommés *fours allemands*, du pays dont ils sont originaires. La demi-liquidité qui résulte du refroidissement permet d'y traiter certaines fontes grises sans les faire préalablement passer en finerie.

La sole de ces fourneaux, élevée d'un mètre environ, repose le plus souvent sur une voûte, afin d'éviter la déperdition de calorique ; on la fait de divers matériaux : les plus répandues sont les *soles en scories*. Pour préparer ces soles, on tasse, sur une sole en fonte qui le plus souvent sert de base, des scories riches, des débris de vieilles soles, des battitures du marteau, le tout pilé et en une couche de $0^{m},08$ à $0^{m},12$ d'épaisseur ; on ramollit ces matières par un bon coup de feu et on les égalise au moyen d'un ringard terminé par une palette. Après chaque puddlage, on remet la sole en état, c'est-à-dire qu'on détache toutes les parties de fer qui y sont adhérentes, qu'on abat les aspérités, qu'on remplit de scories les fissures que le refroidissement a creusées, qu'on en jette partout où il est nécessaire d'exhausser la sole et notamment aux points où elle rencontre les parois du four et du pont, parce que c'est là surtout que les outils la dégradent et que la contraction due au refroidissement la disjoint de la maçonnerie. On donne un bon coup de feu et on égalise comme auparavant.

Pour mettre le four en activité, on le chauffe au rouge-blanc. Sans ce chauffage préalable, qui dure quatre ou cinq heures, le contact prolongé de l'air et du métal amènerait une forte oxydation. On charge ensuite sur la sole et selon la grandeur du four, de 180 à 230 kil. de fonte ou de fin métal en morceaux, que l'on place près du grand autel où la température est la plus élevée. On enfourne quelquefois en même temps de 25 à 50 p. °/₀ de battitures. Cela fait, on charge la grille en combustible et on marche à tout feu en levant le registre et en fermant la porte de travail, soit en la faisant reposer sur du poussier, soit en margeant les joints avec de l'argile. Le métal se ramollit peu à peu et commence à entrer en fusion. L'ouvrier qui, par l'œil de la porte, a introduit son ringard, invite à la liquéfaction les parties restées solides en les rapprochant du foyer; ensuite, il baisse pendant quelques instants le registre jusqu'à ce que les scories viennent préserver le métal d'oxydation, en le recouvrant. La fusion dure 30 ou 40 minutes. Les choses étant comme il le désire, il rétablit le tirage complet et brasse fortement le bain au moyen de râbles.

Le travail chimique qui s'accomplit dans cette opération est le fait

des scories. Pour établir leur mode d'action, considérons ce qui se passerait si l'on se privait de leur secours. L'air, après avoir traversé le foyer et y avoir acquis une température élevée, arrive dans le four, transformé il est vrai, mais sans avoir perdu cependant la totalité de son pouvoir oxydant : s'il se faisait qu'il vînt frapper directement la fonte, il la débarrasserait sans doute, par voie d'oxydation, et des matières étrangères qui la souillent et aussi du carbone qu'elle renferme ; mais le fer lui-même n'échapperait pas à cette action, une partie en serait transformée en oxyde, et ce n'est certainement pas là le but qu'on se propose. Mais si, au lieu d'employer l'oxygène libre pour épurer le fer, on l'emploie combiné à une autre substance, et si cette autre substance est le fer lui-même, comme cela arrive dans les scories, on y trouve un double avantage : d'abord, l'excès d'oxyde de fer du laitier riche, en cédant son oxygène aux matières étrangères, d'après l'ordre des affinités, apporte à la masse une partie du fer qu'il contient ; en second lieu, l'air n'atteignant pas directement la masse ferreuse, n'en oxydera pas le métal : cette oxydation ne pourra être produite d'ailleurs par les scories, car pour que cela fût, il faudrait que le fer de la masse s'appropriât l'oxygène du fer des scories, ce qui n'aurait aucune raison d'être. La faculté oxydante de l'air s'exerce, au four à puddler, sur le fer du laitier ; celui-ci, se trouvant suroxydé, transmet son oxygène au bain de fonte qu'il recouvre et y attaque les substances dont on veut purifier le fer.

On conçoit aisément que les scories pauvres ne peuvent servir avantageusement à l'affinage ; la proportion de silice qu'elles contiennent s'emparerait d'une partie du métal et amènerait ainsi un déchet onéreux. On admet que du moment qu'une scorie forme un bisilicate parfait, elle est impropre à l'affinage, mais si elle contient plus d'oxyde de fer que n'en exige cette qualité, l'excès de base ferreuse se réduit alors à l'état métallique en livrant son oxygène aux matières étrangères, de sorte que plus l'oxyde de fer sera en excès, plus l'influence de la scorie sera salutaire. C'est là l'action principale de la scorie, indépendamment de celle d'autres substances électropositives ou électronégatives qui peuvent entrer dans sa composition et qui agiront conformément aux lois ordinaires. Nous venons

d'envisager l'influence dos scories exclusivement au point de vue chimiquo, mais elles amènent aussi un résultat physique qui, en rendant complexe leur action, exige des modifications aux conséquences précédemment posées. En effet, il résulte de la composition d'un verre quelconque qu'il jouit, étant fondu, d'un degré plus ou moins grand de fluidité, selon la nature des matières qui le constituent : or si, à la fin de l'affinage, la scorie est très-liquido, elle se séparera aisément d'avec le fer ; tandis qu'au contraire si ello est de consistance visqueuso, elle restera indubitablement dans l'intérieur de la masso métallique, le choc d'un marteau sera même impuissant à en opérer l'expulsion à un degré convenable et le fer que l'on obtiendra semblera, dans sa cassure examinée avec soin, saupoudré de cendres, c'est-à-dire qu'il sera dépourvu de tenacité. Or, les scories les plus difficiles à fondre sont celles qui contiennent le plus d'oxyde de fer : cependant, à la chaleur soudante, elles deviennent presqu'aussi fluides qu'un métal en fusion, leur contenu en silice est d'environ 25 p. %; les bisilicates, scories d'un vert d'asperge, ont en fusion de la viscosité ; mais les silicates d'oxydes de fer contenant environ 36 p. % de silice, sont facilement fusibles et d'une fluidité très-grando : ces dernières sont donc celles dont la production annoncera le fer le plus exempt d'hétérogénéité. Il suit encore do là, que cette dernière condition est d'autant plus difficile à remplir que l'on cherche davantage à diminuer le déchet de la fonto. Il est un moyen de reconnaître, sans avoir recours à l'analyse, si les scories sont plus ou moins propres à l'affinage ; il consiste à les réduire en poussière fine et à observer la couleur de cette poussière : la plus noire appartiendra aux scories les plus riches on oxyde de fer.

Si, au four à réverbère, on laissait la fonte en fusion s'affiner d'elle-même, la partie on contact avec les scories s'épurerait seule ; pour répandre l'action chimique dans toute la masse, il faut brasser lo bain avec vigueur : on étend ainsi l'épuration en renouvelant les surfaces. Des principes étrangers qui accompagnent le fer, les uns, par suite de leur oxydation, passent aux scories ; les autres, comme conséquence du même fait, se volatilisent. Mais ce dégagement de gaz, au sein d'une masse fluide, produit nécessairement une ébulli-

tion et ce bouillonnement est tel, qu'une partie des scories s'écoule par le regard de la porte de travail : il diminue à mesure que l'opération avance, puis il cesse. Sa durée peut être de 30' pour la fonte grise et de 12' seulement pour le fin métal.

Ce mouvement tumultueux annonce donc la régénération du fer. En perdant son carbone, le métal perd aussi de sa fusibilité : il se *sèche*, disent les ouvriers. La manifestation de ce phénomène réside encore dans la consistance pâteuse et dans la blancheur brillante que prend le bain par suite de la formation de grumeaux qui ne sont autre chose que des particules de fer revivifiées. Pendant que ces rudiments ferreux s'agglutinent pour former des morceaux, l'attention du puddleur doit être entièrement dirigée vers les points incomplétement affinés et qui lui apparaissent sous un aspect plus sombre : il doit les présenter à l'action de l'air qui les blanchit en les épurant. Lorsque le brassage a jeté dans la masse une certaine homogénéité, lorsque les morceaux de fer présentent assez de résistance, on procède au *ballage*. Pendant le travail du ballage, le registre est entièrement levé et le feu doit être bien alimenté afin de ne pas charger en combustible; on ne doit pas non plus piquer la grille, parce que certaines matières venant en contact avec le fer, pourraient diminuer sa soudabilité.

Pour former les balles, l'ouvrier réunit les parties ferreuses et presse l'une contre l'autre en prenant, pour son ringard qui lui sert de levier, un point d'appui sur les parois de la porte. Les points de jonction des morceaux présentent parfois des nuances sombres : il fait disparaître ces hétérogénéités en les livrant plus directement à l'action de la flamme ; ce soin est nécessaire pour que la soudure soit parfaite et que la balle ait du corps sous le marteau, sans cela elle pourrait voler en éclats. En réunissant ou divisant les morceaux, le puddleur forme ainsi 4, 5 ou 6 balles, de masse à peu près égale. Des ouvriers placent indifféremment les balles ainsi formées vers le grand ou le petit autel ; ils ont tort, par la raison que vers le petit autel, elles seront exposées au courant d'air qui s'établit de la porte à la cheminée et dont l'action sera de brûler le fer. Il est superflu d'ajouter qu'on ne doit pas les mettre près de la porte Les balles

déposées vers le grand autel sont travaillées successivement par le puddleur ; il les rogne ou les grossit selon leurs dimensions, il les presse pour leur donner un aspect sphéroïdal, et fait ainsi faire à chacune deux ou trois tours de sole, selon l'état de l'opération.

Cette manière de procéder à la formation des balles, n'est pas la seule ; en voici une seconde qui est employée à Couillet, concurremment avec la précédente. Le puddleur dispose une petite masse de fer qu'il prend pour principe de la balle ; il la fait rouler en tous sens sur le champ de la sole ; le fer s'y amasse, s'y fixe et forme la balle de la grosseur que l'on désire. Cette manière semble devoir être préférée à la première, par la raison que cette formation par zônes successives livre en détail la totalité de la masse aux éléments d'affinage, et que cette circonstance ne se présente pas au même degré dans la première méthode.

Bonnes à être cinglées, les balles, après avoir reçu un coup de feu afin de parfaire la soudure et d'augmenter la cohésion, attendent leur tour dans le four, où l'on fait dormir la flamme en baissant le registre.

Puddlage à l'eau.

L'emploi de l'eau a surtout pour but de refroidir le four, afin d'empêcher la fonte d'entrer en fusion complète. Lorsqu'elle est ramollie, l'ouvrier cherche à désagréger la masse, à l'aide de son outil : il la divise le plus qu'il peut et la réduit *en sable*, comme disent les ouvriers. Or il faut, pour atteindre ce résultat, conduire convenablement la température ; le puddleur dispose, pour cela, du tirage, de l'eau, et enfin de matières décarburantes qui déterminent la coagulation lorsque la fonte tend à entrer en fusion. On peut user, en une opération, d'environ 20 litres d'eau ; mais à Couillet, on en a employé jusque 100 litres. On procède ensuite au brassage. A Grivegnée, le déchet a été de 15 p. % sur les fontes brutes.

L'effet chimique de l'eau est celui-ci : d'abord le fer, en s'oxydant à son détriment, amène la production d'une certaine quantité d'hydrogène qui doit avoir une action directe sur le soufre que contient

la fonte : aussi le fer des méthodes à eau acquiert-il de la soudabilité et peut-il se travailler à chaud ; il est vrai d'ajouter qu'il n'est jamais aussi nerveux que par les méthodes par bouillonnement. Quant à la décarburation : l'eau oxyde la surface de petits fragments, cet oxyde réagit sur le carbone de l'intérieur et donne ainsi naissance au gaz réducteur, qui parfait la décarburation concurremment avec l'oxygène do la flamme.

De la nature des fontes que l'on affine, dépend toujours la conduite du puddlago. Les fontes blanches sont d'un traitement plus avantageux que les fontes grises, parce qu'elles jouissent de la propriété de se maintenir à l'état pâteux sous une haute température, et que cet état est favorable à la décarburation. Cependant si la fonte était impure, dans la crainte de laisser dans le fer des matières nuisibles à ses propriétés, le devoir de l'affineur serait de retarder la coagulation : il élèverait donc la température et ferait peu usage de matières décarburantes ; si la fonte blanche était puro, il devrait au contrairo accélérer la décarburation.

Lorsque l'on traito une fonte très-carburée, la liquidité du bain fait que l'affinage n'a lieu qu'à la surface ; il faut ajouter des scories ; quelquefois même on débouche en partie le tisard pour donner accès à l'air dans le four, mais on doit user de ce dernier moyen avec circonspection, car il pourrait produire une forte oxydation du métal. Les fontes grises se travaillent dans les fours à l'allemande, c'est-à-dire à courant d'eau dans les parois. Dans ces fours, la fonte ne bouillonne pas aussi fort, ni aussi longtemps que dans les autres : le fer y devient plus sec, ce qui permet à l'ouvrier de le retourner plus aisément pour le présenter à l'air. Le puddleur fait ses balles en prenant toujours le fer à la surface. Il serait bon, observe M. Valerius (1) de faire écouler les scories avant de retirer les balles, pour obtenir du fer de première qualité ; car il pourrait se trouver encore sur la sole, du fer mal affiné qui, en s'attachant aux balles, les détériorerait. Cetto précaution serait bonne, parce que le bouillonnement dure peu et que l'on est exposé à laisser du fer

(1) Valerius, *Fabrication du fer*, p. 187.

mal affiné sur la sole. Les fers des fours à l'allemande sont souvent à grains fins, pointus et blancs. C'est ainsi que l'on produit, à Grivegnée, les fers destinés à la tréfilerie.

Le puddlage exige de la part des ouvriers des soins, de l'expérience et de l'agilité dans les manœuvres : l'opération doit être assez longue et le métal assez travaillé en vue de la bonté des produits, et en même temps on doit se préoccuper de ne pas brûler le fer, en vue de la quantité. Il faut ajouter du reste que ce que l'on perd au puddlage se regagne souvent au réchauffage, car la bonté du fer peut dispenser d'un corroyage.

Le déchet d'une fournée en fin métal est de 8 à 10 p. °/₀ ; en fonte blanche, il est de 10 à 12, et il peut aller jusqu'à 25 p. °/₀ dans le traitement de la fonte grise. D'après M. Valerius, la consommation à Couillet est de 1320 kil. de houille par 1100, 1300 ou 1680 kil. de fer ébauché, suivant qu'on travaille en fonte grise, en fonte blanche ou en fin métal.

Ces chiffres subissent d'ailleurs d'assez grandes fluctuations, selon les localités.

Puddlage sur sole en sable.

On a fait des soles de four à puddler en quartz pilé ou en sable quartzeux très-pur et lavé au besoin, fortement battu et en couche d'une épaisseur de $0^m,16$ à $0^m,20$. Les fours étaient à parois pleines, et il va sans dire que l'on se gardait bien d'y mettre la fonte en fusion : la sole et la fonte se seraient détruites mutuellement. Sur ces soles, on travaillait à l'eau et toujours sur du fin métal ou sur des fontes blanches très-pures ; les fontes grises eussent donné un déchet trop considérable.

Le fer produit ainsi avait pour qualité distinctive d'être dépourvu de scories ; mais cette méthode exigeait plus de combustible et chez les ouvriers plus d'habileté et de force ; enfin le déchet s'élevait jusqu'à 25 p. °/₀. Aujourd'hui, elle a perdu toute faveur.

Puddlage sur sole en fonte.

Lorsque l'on travaille sur sole en fonte, on la recouvre d'une

couche do scories riches grossièrement pulvérisées et de 0m,04 à 0m,05 d'épaisseur. Cotte couche étant bien battue, on donne un coup de feu pour la faire entrer on fusion pâteuse, et alors elle peut recevoir lo métal.

MM. Coste et Perdonnet (1) disent avoir vu à Imphy, des soles en fonte d'un demi-pied d'épaisseur, sur lesquelles on leur a assuré qu'on puddlait sans les recouvrir d'aucune substance. Ce qui est assez difficile à comprendre.

Essai d'une sole en chaux.

L'inconvénient des soles en sable d'absorber l'oxyde de fer à mesure qu'il se formo et de nuire par là à la réaction que cet oxyde doit exercer sur le carbone combiné dans la fonte, joint à cette considération que les fers à la houille sont toujours un peu cassants à chaud, a fait naître l'idée, très-juste en théorie, de faire absorber le soufro et lo phosphore par une sole que l'on formerait en chaux.

La réalisation en a été tentée à l'usine de Couvin. La durée de l'opération a diminué et le fer n'était cassant ni à chaud ni à froid, à ce qu'assure M. do Villeneuve (2). Mais à côté de cet avantage, s'est placé un inconvénient grave : la chemise du four était rapidement détérioréo par suite de la formation d'un verre fusiblo fourni par les éléments des briques qui s'unissaient à la chaux.

Puddlage avec réactifs.

En considérant que les fers puisent dans les corps qui les souillent les mauvaises qualités que le commerce leur reproche, on s'est domandé s'il ne serait pas possible de concilier les théories chimiques avec les exigences de l'industrie, et de créer ainsi des remèdes qui varieraient selon les maladies et qui, convenablement appliqués, feraient rendre, dans chaque cas, de bon fer à de mauvaise fonte. Les tentatives faites dans ce but méritent d'être rapportées, et d'autant plus, que quelques-unes d'entre elles ont introduit l'usage de

(1) *Annales des mines*, 2e sér., t. VI, p. 58.
(2) *Ibid.*, t. IV, p. 498

certains réactifs en pratique courante dans plusieurs établissements. Sans qu'on puisse douter des bons résultats qu'un emploi intelligent de quelques-uns de ces procédés peut amener, on ne peut les préconiser d'une manière absolue, parce que, dans l'industrie, à côté des considérations purement techniques, viennent se placer les convenances locales, les exigences économiques et commerciales.

Puddlage à la poudre de Schafhautel.

Dans plusieurs usines de la haute Silésie, on traite la fonte au four à puddler, en y ajoutant une poudre dont la formule a été donnée par M. Schafhautel, de Munich. M. Le Châtelier (1) qui en a constaté les effets, les déclare satisfaisants quant à la qualité du fer obtenu.

A l'usine de Zandnwitz, les ingrédients qui la composent y entrent dans les proportions suivantes :

3 parties en poids de sel marin,
2 — — d'oxyde de manganèse,
1 — — d'argile à potier,

le tout sec, broyé et mélangé intimement, dont on emploie 1 kil. pour 130 kil. de fonte.

Voici comment on opère. Lorsque la fonte, dans le four à puddler, est entrée en fusion et qu'elle se trouve recouverte du bain de scories, on abaisse le registre afin que le courant d'air n'entraîne pas la poudre. On introduit alors celle-ci par pelletée d'un quart de kilog. environ et l'on répète les injections de deux en deux minutes, de sorte qu'elles sont au nombre de 10 ou 15 et que l'enfournement complet de la poudre demande vingt à trente minutes. Après chaque injection, on enfonce rapidement la matière dans la masse fondue et l'on brasse vivement. Dès qu'on a commencé l'addition du mélange, on voit se dégager, à travers le bain, des flammes blanches qui ont environ 2 pouces de longueur; plus tard, ces flammes deviennent bleuâtres, et à la fin elles prennent une teinte rouge très-prononcée. Le dégagement de gaz qui a lieu, produit un fort bouillonnement, qui

(1) *Annales des mines*, 3e sér., t. XVI, p. 286.

dure environ dix minutes, et après lequel on procède à la formation des loupes. Par ce procédé, des fontes de deux espèces, l'une que l'on regarde comme phosphoreuse, l'autre comme sulfureuse, ont donné un fer qui paraît très-bon, très-doux et qui peut être plié plusieurs fois sans gerçures.

Diverses théories ont entrepris d'analyser les faits qui se produisent dans la purification de la fonte par la poudre de Schafhautel. La plupart attribuent vraisemblablement cette action au chlore, en admettant que le sodium auquel il est uni, oxydé par le peroxyde de manganèse, entre dans un silicate formé avec le concours de l'argile; le chlore, dès lors en liberté, s'empare du phosphore, du soufre et de l'arsenic qui souillaient la fonte et s'expulse avec eux en vertu de la volatilité des composés à la température des fours à puddler. L'excès d'oxygène brûle la poussière de charbon qui formait la fumée, car celle-ci a disparu par l'emploi de la poudre. Quant à l'oxyde de manganèse, il est entré aux scories.

Le rôle généralement attribué au chlore est revendiqué par quelques-uns en faveur du sodium. Ils pensent que le principe gazeux est trop fugitif pour avoir en réalité une action bien grande, et quoique le sodium à l'état d'oxyde, soit en combinaison avec l'acide silicique et l'alumine, la basicité du silicate pourrait, dans leur opinion, mettre le fer à même de réduire la soude d'après la méthode de Gay-Lussac et Thénard. Le sodium dès lors s'emparerait du phosphore et du soufre, pour lesquels il a plus d'affinité que le fer. Un fait qui semble corroborer cette version, c'est que les loupes soumises à l'action du marteau présentent latéralement des flammes verdâtres qui ne se remarquent nullement quand on n'emploie pas la poudre. Ce phénomène, inexpliqué dans la première hypothèse, est compréhensible dans la seconde : en effet, on peut admettre que la masse spongieuse éprouve, par le cinglage, une élévation de température suffisante pour déterminer la réduction par le fer d'une nouvelle quantité de soude, dont le radical volatilisé vient se brûler au contact de l'air. Quoi qu'il en soit, ces théories ne sont que spéculatives; ce qu'il importe surtout de constater, c'est qu'industriellement, des résultats très-heureux ont été obtenus par cette poudre

dans la Prusse rhénane ; dans la Bavière, où M. Élie de Beaumont (1) a vu appliquer ce procédé, à l'aide duquel on faisait de la tôle avec du fer qui, auparavant, était cassant à froid ; en Silésie, où M. Le Châtelier (2) a signalé de beaux succès ; en Angleterre (3), où l'on s'en est parfaitement bien trouvé dans les forges qui préparent des fers destinés à la cémentation ; dans plusieurs usines de Belgique enfin, et notamment à Grivegnée.

A côté d'une amélioration incontestable de la qualité du fer, il faut mentionner un reproche sérieux qui a été fait à cette pratique : il paraît que les fours en souffraient assez fortement, et que les détériorations, dans quelques localités, étaient trop considérables pour ne pas déterminer le rejet de l'innovation. Ajoutons encore que quelques industriels ont été jusqu'à nier les effets salutaires de la poudre de Schafhautel. Il est à croire que l'inhabilité dans l'application peut conduire à cette conclusion : en effet, si Schafhautel a traité avec avantage, par sa poudre, une fonte d'une composition déterminée, il n'est pas rationnel d'admettre qu'un traitement identique agira de la même façon sur toute autre espèce de fonte ; bien au contraire, on doit penser que les proportions doivent varier avec la nature de la fonte et que toute fonte n'est pas propre à subir ce traitement. C'est en vue de cette considération, que nous avons mentionné, en donnant la formule empirique de la poudre, le nom de la localité où elle avait été employée et ce que nous savions de la nature de la fonte.

En Allemagne, on a employé un mélange analogue au précédent et composé de chaux, de mine de manganèse et d'argile. Il est probable qu'il n'aura pas réussi, car tout détail manque à son égard.

Puddlage à la chaux.

Ainsi qu'il a été dit, le calcaire est un désulfurant du fer ; aussi l'emploiera-t-on toujours avec avantage dans l'affinage des fontes

(1) *Annales des mines*, 3e sér., t. X, p. 303.

(2) *Ibid.*, t. XVI, p. 286.

(3) Flachat, *Traité de la fabrication du fer*, etc., p. 519. Paris, 1842.

donnant du fer cassant à chaud. Son influence sur les fontes donnant du fer cassant à froid est également favorable, ainsi que l'établissent les expériences faites, dans la Nièvre, par M. Dufaud (1). C'est de cette époque que date, pensons-nous, l'emploi de la chaux au four à réverbère. Voici le traitement dont la Société d'Encouragement couronna le succès : la fonte étant fondue, était brassée à deux reprises différentes avec un trentième de son poids de carbonate de chaux, le reste du travail ne subissait aucune modification. Le résultat fut que le fer cessa d'être cassant et devint plus doux, sans que la dépense fût augmentée. On emploie souvent de la castine, dont on garnit la sole du four ; cela est très-bon, surtout pour les fontes sulfurées ; dans tous les cas, la chaux épaissit les scories.

Puddlage au minerai de fer.

La castine se délite dans les fours où l'on travaille à l'eau ; elle rend les scories visqueuses. On a trouvé avantage à y substituer des minerais de fer qui, pour cet usage, doivent être compactes, exempts de pyrite et de terre. A Seraing, on emploie de l'oligiste ; on s'en trouve surtout très-bien pour les fontes qui contiennent une très-forte proportion de silicium.

Puddlage au salpêtre.

L'emploi du salpêtre a été proposé par le docteur Engelhard, dans sa traduction de la *Chimie appliquée* de Dumas, à l'article *Affinage*. Dans l'essai que l'on en a fait, on a traité 150 kil. d'une fonte phosphoreuse et sulfureuse, par un $^1/_2$ kil. de nitre, divisé en trois portions, que l'on ajoutait successivement à chaque brassage. Le fer produit fut annoncé d'une bien meilleure qualité qu'à l'ordinaire.

On conçoit aisément ce qui se passe : le soufre, le phosphore, l'arsenic, en présence de l'acide si oxydant du salpêtre et d'une base aussi forte que la potasse, n'hésitent pas à former un sulfate, un arséniate, un phosphate de potasse.

Ce procédé qui, par le prix de l'élément épurateur, ne peut être préconisé, n'a, du reste, pas donné partout des résultats satisfaisants.

(1) *Bulletin de la Société d'Encouragement*, août 1810 ; Rapport de M. Anfrye.

Il va néanmoins mieux au travail d'un four à puddler, qu'à celui d'un feu d'affinerie ; car, dans un creuset, le mélange intime est difficile, et, d'un autre côté, une partie du salpêtre, par sa légèreté relative, gagnant les régions supérieures, s'unit aux scories et annihile par là son effet.

Emploi de la vapeur d'eau.

La vapeur d'eau a été employée, en Angleterre, dans les usines de Dowlais, près de Merthyr-Tydwil, et récemment à Eschweiler, chez MM. Michiels et C[ie]. Voici la marche que M. Ad. Courtheoux, chef de la fabrication, a suivie dans cette dernière usine. Le four est à courant d'eau et présente, aux deux côtés de la porte, deux buses pour projeter la vapeur d'eau et l'air sur le métal à affiner, qui est une fonte grise au coke ou au bois. Lorsqu'elle est en fusion, on ajoute, par portions, de 3 à 8 kil. d'oxyde noir de manganèse, et l'on brasse après chaque addition Quand la masse est bien soulevée, on lance la vapeur d'eau qui se trouve dans l'appareil à échauffer, à une tension de quatre atmosphères : elle entraîne de l'air, et pendant ce temps, on agite et l'on brasse la masse. On arrête la projection de l'eau quand le fer prend nature. Les loupes que l'on fait sont petites, afin de rendre plus efficace l'action du marteau.

On obtient ainsi des produits comparables, paraît-il, à ceux de Lowmoor, dont on apprécie la qualité sur tout le continent. On fabrique surtout de la sorte, le fer qui doit servir pour bandages et qui doit être fort, dur et à grains fins.

Puddlage à la tourbe.

La tourbe, pendant longtemps, a été dédaignée des métallurgistes, comme impuissante à donner une température suffisamment élevée. Il résulte aujourd'hui (1) des travaux entrepris dans les landes françaises, la Bohême, la Bavière et le Wurtemberg, que cette prévention n'était pas fondée et que les grands dépôts de ce combustible qui gisent dans ces pays, peuvent être utilisés dans les usines.

(1) Voir *Annales des mines*, Alex, 1[re] sér., t. XIII, p. 521 ; Bineau, 3[e] sér., t. VII ; Lefebvre, 3[e] sér., t. XVI, p. 357.

Les chiffres indiqués dans cet article sont empruntés au mode d'opérer adopté à Ichoux, département des Landes. La tourbe de cette localité est extrêmement légère ; c'est là un défaut qui nécessite des chargements fréquents, dont la conséquence est un refroidissement du foyer. Elle contient 10 p. % d'eau ; avant de s'en servir, on la sèche et on la presse en briquettes. Essayée à la litharge, elle a donné 15,4 grammes de plomb, et comme chaque gramme correspond à 230 calories, le pouvoir calorifique de l'échantillon est représenté par 3542 calories.

Le fourneau ne diffère de ceux qui marchent à la houille que par une légère diminution du rapport des sections du four, de l'étranglement et de la cheminée, à la surface libre de la grille qui est égale au tiers de la surface totale ; la dimension de cette dernière est environ de 1 mètre carré La sole est un mélange de battitures et de scories riches, d'une épaisseur de $0^m,06$, reposant sur une plaque de fonte soutenue par des colonnes.

Pour mettre à feu, on charge la chauffe en combustible jusqu'à la voûte, on met le feu et on bouche le tisard avec une motte de gazon, parce que la tourbe menue s'enflammerait. On soutient les briquettes au-dessus du pont à l'aide d'une bûche de bois posée en travers. Au bout de cinq heures, le four jouit d'une température suffisante pour qu'on puisse charger la fonte. On traite en une opération 180 kil. de fonte brute. Aussitôt qu'ils sont introduits dans le four, on ferme les portes et on marche à tout feu. Au bout de trois quarts d'heure, la fonte s'est ramollie ; on la maintient en fusion pâteuse. Il est d'habitude en chargeant la tourbe pendant la fusion, de jeter du menu par dessus les briquettes, et cela afin d'effectuer une désoxydation plus complète de l'air ; mais, quand on est arrivé à la période où s'opère l'affinage, on ne prend plus ce soin, parce que l'on veut utiliser l'air comme décarburant. Lorsque l'ouvrier travaille la masse pour la diviser, il l'asperge de temps à autre de quelques cuillerées d'eau ; quant à la formation des balles, elle ne présente rien de nouveau. Cependant, comme la température durant cette phase de l'opération doit être très-élevée et l'air le moins oxydant possible. on a trouvé que ces conditions. la dernière surtout, étaient

le plus complétement atteintes par l'usage de bûches de bois, concurremment avec de grosses briquettes de tourbe; du reste, bien que nous n'ayons parlé que de tourbe, on ajoute toujours à ce combustible environ un dixième de menu bois.

Les feux de chaufferie sont alimentés de la même manière, mais la températuro n'y est pas suffisante; de là vient que le fer travaillé à la tourbe n'est pas d'une grande homogénéité et que souvent on lui reproche de se gercer.

La production journalière est à peu près la même que celle des fours à la houille. La consommation au puddlage, du bois et de la tourbe, est de 40 p. %, en poids, plus considérable que celle de la houille employée au puddlage et au finage à l'état de coke.

Le fer d'Ichoux est nerveux et gris-noir; il se laisse bien souder et percer à chaud, dans un sens surtout; il résiste assez bien à la traction et se laisse généralement plier à froid. D'après M. Lefebvre (1), le prix probable de revient du quintal métrique de fer puddlé marchand, était de 36 fr. 53 c., en 1839, et se vendait jusqu'à 45 francs.

En Bavière, dans le Wurtemberg, on trouve des usines où l'on exécute avec la tourbe toutes les opérations qui se font avec la houille dans les forges à l'anglaise.

Puddlage au bois.

La rareté toujours croissante du bois n'autorise à en admettre l'usage au puddlage que dans des circonstances locales particulières. Tout ce qui a été tenté à ce sujet à Châtillon-sur-Seine (2) et en Suède, a indiqué qu'il y avait là une économie d'un tiers environ en combustible, comparativement à l'affinage au charbon de bois dans les feux d'affinerie d'après la méthode allemande; quant à la qualité du fer, elle était amoindrie et n'était guère supérieure à celle des fers à la houille.

Cependant la Styrie, la Carinthie et la Hongrie, offrent l'exemple

(1) *Annales des mines*, 3e sér., t. XVI, p. 376.

(2) Coste, *Annales des mines*, 1829.

de plusieurs grandes usines dans lesquelles on exécute, au moyen du bois seulement, l'affinage du fer dans les dispositions de la méthode anglaise. Dans ces contrées, le bois est très-abondant et coûte fort peu. Dans celui dont on use, les essences résineuses dominent et donnent par conséquent de longues flammes. Comme il arrive souvent aux usines par flottage, il y a nécessité de le dessécher : cela se fait d'abord à l'air libre et ensuite dans des fours, après l'avoir préalablement fendu en bûchettes.

Le four de puddlage est le même qu'à la houille, si ce n'est que les dimensions de la sole sont un peu moindres. On traite à chaque opération 200 kil. de fonte au bois; le combustible est un mélange de bois desséché à l'air et de bois desséché au four. Avant d'être chargée, la fonte est chauffée au rouge dans un petit four adjacent au four à puddler. Le travail est identiquement le même que celui qui a été décrit. 110 de fonte rendent 100 de fer puddlé.

On a mis en activité, à Neuberg en Styrie, un four à deux soles contiguës séparées par un pont; un courant circulait dans toutes les parois; le travail avait lieu au bois. On dit que, quoique les soles fussent inégalement proches du foyer, les puddleurs parvenaient néanmoins à faire marcher leurs opérations de front.

Les fours à réchauffer sont semblables à ceux à la houille, seulement la voûte en est plus basse. On n'y brûle que du bois desséché au four, afin d'obtenir une haute température. 117 de fer puddlé rendent 100 de fer.

Le fer obtenu au bois, à Neuberg, est un fer fort dur et aciéreux qui se travaille mal aux cylindres et se gerce perpendiculairement à sa longueur. Le gouvernement autrichien l'emploie pour l'artillerie et la marine.

Une partie du fer puddlé est travaillée dans des foyers d'affinerie par la méthode styrienne, qui sera décrite plus tard.

Puddlage à l'anthracite.

L'anthracite brûle encore plus difficilement que le coke, à cause de sa compacité; on l'a essayé au four à réverbère à Vizille (Isère), et

afin d'avoir un point de comparaison, on a tenté de marcher comme à l'ordinaire. Mais ce minéral contient peu de matières volatiles ; au bout de deux heures, la flammo n'arrivait pas au milieu du four, qui ne pouvait être porté qu'au rouge naissant. Dans cet état de choses, on disposa lo foyer pour y appliquer un courant d'air forcé ; on mit six tuyères à la grille, sous des inclinaisons différentes et on put dès lors porter le four au rouge-blanc.

Après avoir tenté un grand nombre de modifications, on conclut que l'usage de l'anthracite augmenterait la durée de l'opération d'une demi-heure ; qu'il nécessiterait de fréquents nettoyage du foyer ; qu'enfin la qualité du fer, loin d'être améliorée, présenterait souvent une infériorité résidant dans la facilité qu'il aurait de se gercer.

Puddlage en four double.

Pour charger davantage et pour économiser le combustible, on a imaginé de construire des fours ayant du même côté deux portes de travail à 1 mètre de distance et dans lesquels on pouvait charger 325 kil. de fonte, que deux ouvriers travaillaient à la fois Ces fours donnent trop de chaleur vers le pont et trop peu vers la seconde porte. Le travail y est réputé, dans les forges anglaises, plus difficile, plus coûteux et donnant plus de déchet ; nous trouverons cependant des fours semblables dans la méthodo champenoise mixte, où ces vices ne leur ont pas été reprochés.

FORMATION DES BARRES ET RÉCHAUFFAGE.

La loupe, telle qu'on la retire du four de puddlage, est une masse métalliquo encore molle, à texture lâche et renfermant, sous des enveloppes ferreuses, des scories, de la même façon qu'une éponge renferme l'eau dans laquelle on l'a plongée. Il faut exprimer ces scories ; il faut, en rapprochant et en soudant entre elles les particules métalliques, fairo prendre corps à la masse et lui donner les qualités de résistance qu'en exige le commerce. Ce sont les efforts mécaniques qu'on lui fait supporter dans ce but, que nous allons

passer en revue, en nous abstenant d'entrer dans des détails technologiques, auxquels le cadre de ce mémoire refuse place.

Marteau. — La loupe que l'ouvrier a saisie dans le four à puddler, au moyen d'une tenaille de grande dimension à mors recourbés et que l'on nomme *écrevisse*, est quelquefois ébauchée directement aux cylindres d'un laminoir; mais, le plus généralement, elle est traînée sur l'enclume d'un marteau cingleur. Cette enclume en fonte repose sur des fondations solidement établies et contenant plusieurs lits de pièces de bois destinées à faire ressort. Le marteau, également en fonte, est mobile autour d'un axe horizontal supporté par deux pieds à collets ; dans la plupart des forges à l'anglaise, il est *frontal*, c'est-à-dire à soulèvement antérieur ; sa longueur est de $3^{m},50$ environ; son poids varie de 2500 à 7000 kil.; son battage est de 60 à 100 coups par minute, avec une volée moyenne de $0^{m},40$. Il est mené par des engrenages ou par un anneau à cames fixé sur un arbre qui reçoit son mouvement, soit d'une roue hydraulique, soit d'une machine à vapeur. La partie antérieure de la panne offre, par des retraits, deux entailles carrées qui aident à donner aux loupes la forme que l'on désire.

On place la loupe à cingler sur la table de l'enclume, et pendant le travail le marteleur, à l'aide d'une tenaille, la retourne dans tous les sens, de façon que les coups réitérés qu'elle reçoit lui fassent prendre la forme d'un parallélipipède rectangle : sous cette compression, les scories, violemment exprimées, sillonnent l'air en brillantes étincelles. Lorsque la masse a pris une forme allongée, on la place verticalement pour souder les bouts; après quoi, le cinglage au marteau est terminé. Un marteau frontal est servi par deux ouvriers et suffit à 12 fours à puddler.

Laminoir. — Sauf réchauffage, la loupe ainsi purifiée et réduite à un volume moindre et plus régulier, est étirée en barre au laminoir. L'appareil qui porte ce nom se compose d'une paire de cylindres horizontaux, parallèles, superposés, solidement établis et présentant chacun une série de cannelures creusées en gorge et qui s'accouplent deux à deux, de façon à former ensemble le profil que

l'on veut faire prendre au lopin de fer. Les premières cannelures sont elliptiques, les suivantes sont rectangulaires; leurs aires vont en décroissant, suivant une loi non déterminée, mais dont l'élément principal doit être la consistance de la matière à comprimer. Les cylindres mis en mouvement tournent en sens inverses, de sorte qu'ils font, sur le lopin qu'on leur présente en le pressant un peu, l'effet de lèvres qui aspirent, et comme les premières cannelures sont hérissées d'aspérités, celles-ci font fonction de dents qui mordent la barre et la forcent à franchir la cannelure; sous cet effort, le métal perd encore des scories, sa pâte prend de la compacité et affecte enfin une forme plus régulière. Lorsque la barre est arrivée de l'autre côté, un second ouvrier la prend à l'aide d'une pince et la repasse, par-dessus les cylindres, au premier, qui la soumet à une nouvelle pression dans la cannelure suivante, et l'on continue ainsi jusqu'à ce qu'on soit arrivé à donner à la barre la forme désirée.

Un train exige deux ouvriers et un aide : un lamineur à l'entrée, un rattrapeur de l'autre côté et un aide releveur avec celui-ci pour relever et repasser la pièce par dessus les cylindres. Ces cylindres ébaucheurs ont de $0^m,40$ à $0^m,50$ de diamètre; leur vitesse varie de 25 à 40 tours par minute, et dépend de la qualité du fer que l'on étire.

Cisaille. — Pour bonifier le fer, on lui fait subir un corroyage; c'est-à-dire qu'on coupe les fers ébauchés en morceaux, qu'on les réchauffe et qu'on les lamine de nouveau. La cisaille est un instrument qui sert à couper les barres. Il se compose d'une sorte de mâchoire à deux branches, dont l'une est fixe et dont l'autre est mobile autour d'un axe horizontal. On pose la barre sur le ciseau fixe; le ciseau mobile, mené par une manivelle ou un excentrique, vient couper de son tranchant l'ébauché et en sépare une partie dont la longueur est déterminée par un point d'arrêt contre lequel on l'avait placé. Les morceaux, souvent au nombre de quatre, sont soudés ensemble au four à réchauffer.

Réchauffage. — Pour pouvoir passer au cylindre les pièces de fer, il faut qu'elles soient sous l'influence d'une haute température, que

peuvent leur donner les fours à réchauffer. Ces fours sont semblables aux fours à puddler, et à tel point qu'il est des établissements, à la fonderio de canons de Liége, par exemple, où un même four sert à deux fins : on enlève la sole en scorie, on la remplace par une sole en sable et lo four à puddler devient four à réchauffer. Dans ces derniers, les parois sont toujours pleines et souvent le petit autel manque ; lo pont est à air. Les plus longues grilles ont 1^m,00 sur 0^m,80 ; communément elles ont 0^m,90 sur 0^m,70 ou 0^m,75 ; le rapport de la grille à la sole est :: 1 : 2 $^1/_2$, ou plutôt :: 1 : 3 ; la hauteur du pont est moindre de 0^m,04 à 0^m,05 que dans les fours à puddler. La sole est en briques réfractaires, posées de champ, recouvertes de sable bien battu ; elle affecte une légère inclinaison vers le floss pour faciliter l'écoulement des scories. Comme le but qu'on se propose dans ces fours est do produire rapidement une haute température, on a, dans cette vue, fait quelques changements aux proportions du four à puddler ; c'est ainsi que la voûte a été baissée, que la flamme s'est trouvée plus gênée, avant de se jeter dans la cheminée, par suite d'un rétrécissement du rampant.

Lo changement doit s'opérer avec rapidité ; les portes ne doivent nullement donner accès à l'air, et, dans le même but, la houille doit être chargée de façon que le courant de flamme soit le moins oxydant possible. Nonobstant ces précautions, la flamme oxyde encore le fer à la surface, et alors il se produit, avec le sable de la sole, une action qu'il importe de noter. En effet, l'oxyde de fer qui se forme à l'extérieur des bouts de barre à souder, ne préserve que très-imparfaitement l'intérieur de ces barres ; mais cetto préservation deviendrait évidemment plus complète et par conséquent lo déchet moindre, si l'épaisseur de la couche préservatrice augmentait, sans augmenter le déchet qu'elle représente et si le contact de cetto couche avec le fer non encore oxydé devenait plus intime par l'échange de son état solide contre un état fluide ; eh bien, ces modifications sont apportées par le sable. Le sable, en s'unissant avec l'oxyde de fer, épaissit l'enveloppe et la rend mouillante en formant un silicate fluido ; cette combinaison se communique de proche en proche et bientôt tous les bouts de barre en sont entourés comme

d'un vernis. D'un autre côté encore, l'oxyde de fer entre les pièces à souder serait un obstacle à leur réunion, tandis que la scorie fluide sera aisément expulsée par compression. D'après cette explication, on comprend pourquoi une sole en scories ne peut convenir aux fours à réchauffer : l'enduit conservateur ne se formerait pas et le fer brûlerait.

Chaque fournée est de 500 kil. de fer ébauché ; on en fait 7 ou 8 en douze heures. Les soins du chauffeur se résument à clore tout accès à l'air, à charger la grille et à retourner les pièces. On brûle 70 ou 80 kil. de houille pour 100 kil. de gros fer ; le déchet est de 11 p. % de gros fer, et il faut pour la sole 7 $^1/_2$ de sable réfractaire pour 100 de fer fini.

Les barres ainsi réchauffées passent de nouveau à un laminoir dont les cylindres ont de $0^m,35$ à $0^m,40$ de diamètre, marchant avec une vitesse de 65 à 100 révolutions à la minute. Elles ont alors un profil franc ; la forme en est ordinairement aplatie et rectangulaire, à moins qu'on ne fabrique des articles spéciaux, tels que des rails de chemin de fer, etc. En sortant des cylindres, elles ne sont pas toujours parfaitement dressées, c'est pourquoi on les traîne sur un plan incliné en fonte, où quelques coups de marteau de bois ont bientôt fait disparaître leurs courbures. Les extrémités des barres sont ordinairement défectueuses, irrégulières et mal soudées ; il est d'usage de les *affranchir*, c'est-à-dire de couper et d'équarrir les extrémités : c'est la cisaille qui fait cette opération. Avant de livrer les fers au commerce, on leur donne parfois un poli en les faisant passer dans des cylindres unis nommés *espatards*, et selon le nombre de corroyages qu'ils ont subis, ils prennent les dénominations de *fers marchands, n° 1*, *n° 2* ou *n° 3*.

Le marteau et le laminoir ne sont pas les seuls appareils dont on se serve dans les usines pour comprimer les loupes ; il en est d'autres que nous allons citer.

Le *squeezer* ou *compresseur* est semblable, en ses dispositions ainsi qu'en son jeu, à la cisaille. La mâchoire seule présente des modifications qui exigent quelques détails. Elle n'est plus formée de couteaux qui se rencontrent par leurs bords dans le but de couper ce

qu'on leur présente, mais bien de deux plaques en fonte, gauffrées afin de retenir entre elles la loupe qu'on y place, et dont le cinglage s'opère par les compressions résultant des rapprochements successifs des deux mâchoires. La mâchoire inférieure, qui sert d'enclume, présente deux étages : c'est sur la panne supérieure que l'ouvrier dépose la balle à cingler ; il la fait avancer dans la gueule de la machine à mesure que le volume diminue et la soumet ainsi à des compressions dont la puissance est graduée selon l'état de la matière ; le cinglage se termine en plaçant la loupe sur la panne inférieure pour la refouler par bouts. Cet appareil n'est pas, comme le marteau, dangereux et coûteux, il n'ébranle pas le bâtiment qui le contient ; mais, en revanche, il n'épure pas aussi bien le fer que l'appareil de percussion. Les *squeezers* sont répandus en Angleterre, où ils battent au moins 90 coups par minute. En Belgique, les usines qui en possèdent, Grivegnée et Couillet, s'en servent rarement : l'appareil de Couillet bat 64 coups par minute, aussi le cinglage à ce *squeezer* (1) est-il plus lent qu'au marteau dans le rapport de 3 à 2.

Marteau-pilon. — L'appareil qui porte ce nom est le meilleur qu'on ait employé jusqu'ici au forgeage des grosses pièces ; il est venu d'Angleterre et est dû à M. Nasmyth. Ses dispositions essentielles sont : un cylindre à vapeur, vertical et à simple effet, supporté par un bâti en fonte. La tige du piston traverse le fond et est fixée à une masse de fonte dont la partie inférieure porte une panne ; c'est là le marteau ; il présente des saillies latérales guidées par des rainures qu'offre le support. L'enclume se trouve immédiatement au-dessous, au centre du bâti. Le cylindre est muni de deux ouvertures servant, l'une à l'introduction de la vapeur, l'autre à la décharge ; ces tubes s'ouvrent et se ferment à la main, à l'aide de leviers articulés. Lorsque la vapeur a accès sous le piston, elle le soulève et avec lui le marteau ; si on ouvre ensuite le robinet de décharge, le marteau retombe sur l'enclume de tout son poids. Dans cette machine, l'étendue de la course du piston, la rapidité dans la succession des coups, ainsi que la vitesse de la chute, sont à la discrétion de l'ouvrier,

(1) VALERIUS, *Fabrication du fer*, p. 270.

car il peut commander l'arrivée et la décharge de la vapeur comme il lui plaît ; aussi peut-il obtenir les effets les plus variés.

Le marteau-pilon de Seraing fonctionne à la pression de 2 à 2 $^1/_2$ atmosphères, dépensant une force de 15 chevaux environ. Le poids de la masse qui tombe est de 1500 kil.

Machine à cingler rotative. — On doit à M. Henri Burden, de Glascow, un appareil qui cingle une loupe en six secondes et qui peut desservir au moins 50 à 60 fours à puddler. Il se compose d'un cylindre vertical en fonte, cannelé extérieurement et mobile autour de son axe. Ce cylindre est entouré d'un autre cylindre vertical, également en fonte, solidement fixé, cannelé intérieurement et dont la directrice forme spirale avec la circonférence directrice du tambour central ; de telle sorte que la largeur de l'espace compris entre ces surfaces cannelées va diminuant à mesure que l'on avance. Si donc on engage une loupe à l'entrée de l'excentrique, et si l'on fait tourner le cylindre central dans le sens de la volute, à l'aide de ses cannelures il entraînera la loupe dans le moulin, qui ne la rendra que réduite aux dimensions de l'issue. Pour refouler par bouts autant que possible, on a placé horizontalement, le long du parcours de la loupe, un lourd anneau en fonte susceptible de glisser le long de l'axe et qui comprime continuellement la masse de fer en agissant sur elle de tout son poids.

Cette machine présente de grands avantages sous le rapport de la rapidité du travail et sous celui de l'économie ; le seul reproche qu'on ait à lui faire, c'est de ne pas opérer un refoulement par bouts assez énergique.

EMPLOI DES GAZ COMME COMBUSTIBLES.

L'utilisation des gaz combustibles aux fours de puddlage constitue, dans la métallurgie du fer, le progrès le plus remarquable de ces derniers temps. Depuis longtemps déjà, on avait employé les flammes perdues qui se dégagent du gueulard des hauts fourneaux à la cuisson des briques, au grillage des minerais, au chauffage de l'air ou des chaudières des machines à vapeur, à la torréfaction et à la

carbonisation du bois. Ce progrès pris naissance dans l'Eiffel : l'idée en vint aux propriétaires d'usines comme un moyen de rendre impossible, aux environs de leurs établissements, la fabrication de la chaux dans les fours, fabrication qui menaçait de leur enlever le bois dont ils avaient besoin. Depuis lors, on est parvenu à en étendre l'usage jusque dans les fours à réverbère, et ce résultat est surtout important, en ce qu'il permet d'espérer que l'on arrive à produire des températures élevées au moyen de combustibles solides de mauvaise qualité, ayant peu de débouchés et de valeur.

Avant de décrire les applications, il est intéressant de chercher à connaître approximativement la valeur calorifique des gaz du gueulard. C'est M. Bunsen (1) qui, le premier, a considéré la question analytiquement, en travaillant sur les gaz du haut fourneau de Veckerhagen (Hesse-Cassel). M. Ebelmen (2), après lui, par ses savantes études et tout en s'occupant de la valeur des gaz comme combustibles, a fait faire quelques pas à la théorie des hauts fourneaux. Voici la méthode employée par cet ingénieur pour apprécier théoriquement ce que peuvent fournir de chaleur, l'inflammation de ces gaz.

Une moyenne de quatre analyses de gaz s'échappant du gueulard du haut fourneau au bois de Clerval (Doubs), permet d'en poser ainsi la composition :

	lit.		gr.		gr.
Vapeur d'eau . . .	0,117	pesant	0,0944,	ou bien, abstraction faite de l'eau :	
Acide carbonique. .	0,125	»	0,2475	Carbone. . . .	0,1722
Hydrogène carboné.	0,036	»	0,0260	Hydrogène. . .	0,0065
Oxyde de carbone .	0,156	»	0,1964	Oxygène. . . .	0,2909
Azote	0,566	»	0,7171	Azote.	0,7171
	1,000		1,2814		

le tout étant ramené à la température 0° et à la pression de 0m,76 de mercure. Le problème revient à déterminer la quantité de gaz qui passe au gueulard en un temps donné, et, cela fait, à calculer la chaleur que produit cette masse en brûlant.

(1) *Ann. des mines*, 3e sér., t. XVI, p. 203.

(2) *Ann. des mines*, 3e sér., t. XVI, p. 582, 3e sér., t. XX, p. 359, 4e sér., t. XIX, p. 89.

A cet effet, remarquons que tout l'azote des gaz provient exclusivement de l'air insufflé par les tuyères, et aussi, que tout le carbone des mêmes gaz n'est autre que la totalité du carbone provenant du combustible, de la castine et du minerai chargés au haut fourneau, en faisant abstraction toutefois du carbone qu'entraîne le fer dans la fonte. Notons encore qu'une analyse du lit de fusion de Clerval indique que dans $0^{gr},1722$ de carbone, que contient un litre de gaz, il n'y a que $0^{gr},1603$ qui proviennent proportionnellement du combustible; d'un autre côté, on sait que sur 116 kil. de charbon que renferme une charge, il y a 95 kil. de carbone, en d'autres termes, que les seize charges que l'on passe en douze heures, apportent au fourneau 1520 kil. de carbone. La quantité d'azote lancée pendant le même temps sera donc donnée par la proportion :

$$0,1603 : 0,7171 :: 1520 : x,$$

d'où :

$$x = 6799,7 \text{ kil. d'azote.}$$

En se rappelant qu'un litre d'air pesant $1^{gr},29$ contient $0^{gr},99$ d'azote, on trouve aisément à quel volume d'air correspond ce poids d'azote : on n'a qu'à poser

$$0,99 : 1 :: 6799700 : y,$$

ce qui donne :

$$y = 6868383 \text{ litres d'air en douze heures,}$$

ce qui équivaut à $9^{mc},53$ par minute (1).

(1) L'air fourni par la machine soufflante n'entre pas en totalité dans le fourneau : un tiers environ est perdu par la tuyère et par la tympe; aussi aurait-on commis une erreur en opérant sur les chiffres que fournit la formule de d'Aubuisson. Voici la quantité d'air injecté qu'elle indique, en l'appliquant au haut fourneau de Clerval :

$$q = 289\, d^2 \sqrt{\frac{h(1 + 0,0037\, t)}{b + h}}$$ dans laquelle t, température de l'air $= 200°$
h, pression du manomètre $= 0,03$
b, pression atmosphérique $= 0,76$
d, diamètre de l'œil de la buse $= 0,072$.

En substituant et réduisant, on trouve $q = 0,3921$ mètres cubes d'air, dont le volume à 0° et sous la pression 0,76, sera donné par la formule

$$V' = V \frac{P}{P'} \frac{267 + t'}{267 + t} = 0,3921 \times \frac{0,76 + 0,03}{0,76} \times \frac{267}{267 + 200} = 0,2330 \text{ en } 1''.$$

Ce qui donne, en une minute, $13^{mc},98$, tandis que tantôt nous n'avons trouvé, en effet, que $9^{mc},53$: il y a donc perte d'un tiers environ de l'air fourni par la machine.

On possède maintenant tous les éléments nécessaires pour déterminer le volume du gaz combustible qui passe au gueulard. En effet, d'après l'analyse donnée plus haut, chaque fois qu'il sort du fourneau $0^{lit},566$ d'azote, cela correspond à la sortie d'un litre de gaz combustible; donc pour chaque litre d'air qui entre et qui contient $0^{lit},79$ d'azote, il passera au gueulard

$$\frac{1^{lit} \times 0,79}{0,566} \text{ de gaz},$$

c'est-à-dire que l'injection de $9^{mc},53$ d'air, amèneront le passage d'un volume de gaz représenté par

$$\frac{0,79 \times 9^{mc},53}{0,566} = 13^{mc},30.$$

Il nous reste à rechercher quelle est la quantité de chaleur que ces gaz sont capables de produire par la combustion.

On trouve, dans les comptes rendus de l'Académie des sciences (1), que des expériences de M. Dulong ont conduit à admettre que

1 litre d'hydrogène protocarboné ($H^4 C$) donne en brûlant 9,587 calories;
1 id. d'oxyde de carbone ($C O$) . . . . id. . . . . 3,130 id.;

d'autre part, on sait qu'un litre d'hydrogène protocarboné consomme, en brûlant complétement, deux litres d'oxygène, et qu'un litre d'oxyde de carbone n'exige qu'un demi-litre d'oxygène pour se transformer en acide carbonique. D'après ces bases, le nombre de calories que fournira la combustion d'un litre de gaz du gueulard sera, d'après la composition énoncée plus haut :

Pour ($H^4 C$). . . . . $0,036 \times 9,587 = 0,345132$ calorie,
Pour ($C O$) . . . . . $0,156 \times 3,130 = 0,488280$ »

Total pour un litre de gaz 0,833412 » (2)

(1) 1838, 2e semestre, p. 874.

(2) Chaque litre de gaz, pour brûler, a consommé de l'oxygène comme il suit :

lit.
Pour ($H^4 C$)........ $2 \times 0,036 = 0,072$
Pour ($C O$) .... $1/2 \times 0,156 = 0,078$

0,150, ce qui correspond à $0^{lit},713$ d'air atmosphérique; il s'ensuit que la quantité d'air employé pour la combustion devra être plus grande que $0,713 \times 13^{mc},30$ ou $9^{mc},48$.

ce qui revient à 11084,3796 calories pour 13^{mc},30 de gaz et par minute; par heure on aurait donc

11084,3796 × 60 ou 665063 calories,

et si on admet que 25000 calories représentent, pour une machine à vapeur, la force d'un cheval, par heure, on voit que la flamme perdue dont il vient d'être question est capable de procurer une force de 26,6 chevaux-vapeur.

Ces calculs entachés, comme on a pu s'en apercevoir, d'une certaine élasticité, coïncident cependant, dans leurs résultats, d'aussi près qu'on peut le désirer, avec les expériences qu'a faites M. Robin, à Niederbrunn (Bas-Rhin). Ces expériences ont été faites sur de la vapeur maintenue à une tension de 2,5 atmosphères, et voici comment. On a laissé arriver la flamme du gueulard sous la chaudière d'une machine; en même temps, on a fait passer la vapeur dans le cylindre, en prenant la précaution d'en laisser échapper par le tuyaux de trop plein lorsque la tension dépassait 2,5 atmosphères. Le volume d'eau vaporisée en 70 minutes a été de 666 litres. Pour obtenir le nombre de calories correspondant à cet effet physique, on n'a qu'à remplacer dans la formule

$$p\ (550 + t)$$

p par le poids de l'eau et t par la température (128° et quelque chose), relative à la tension de 2,5 atmosphères, et on trouvera 452080 calories en 70 minutes, c'est-à-dire 387497 calories par heure. En supposant qu'un combustible, chauffant directement, utilise 0,60 de la quantité de chaleur qu'il donne réellement, et en admettant que l'appareil était disposé dans les meilleures conditions, que la flamme du gueulard était utilisée aux soixante centièmes de sa puissance calorifique, cette puissance serait, d'après l'expérience décrite, de 645828 calories, qui équivalent à 25,8 chevaux-vapeur.

Ce qui vient d'être dit donne une idée de l'économie réalisée par l'emploi des gaz perdus; mais ce qu'il importe de savoir pour l'appliquer à la fabrication du fer, c'est la température produite par ces gaz. Dans ce but, il faut rechercher quelle est la quantité de

chaleur qu'exige la masse gazeuse, produit de la combustion d'un litre de gaz du gueulard, pour s'échauffer d'un degré : d'après l'analyse même de ce gaz, il est facile de calculer que, par sa combustion complète, un litre fournira :

		POIDS.	Qui demande pour s'élever d'un degré.
	lit.	gr	c.
Acide carbonique . .	0,317	0,628	0,0001387
Vapeur d'eau . .	0,189	0,152	0,0001292
Azote	1,129	1,430	0,0003938
	1,635	2,210	0,0006617

on obtiendra la température cherchée en résolvant l'égalité

$$0,833412 = 0,0006617 \times x$$

d'où

$$x = 1259^\circ.$$

Cette température est supérieure à celle de la fusion de la fonte donnée par Pouillet ; néanmoins on doit, sans hésitation, la considérer comme un *minimum*, car on a fait ici abstraction de la chaleur sensible du gaz ; on l'a brûlé avec de l'air froid, ce qui n'a pas lieu dans les arts ; il est vrai, qu'en revanche, on l'a supposé débarrassé de vapeur d'eau.

Le gaz dont nous venons de nous occuper avait été pris au gueulard. Il se présente naturellement ici cette question : à quel point du haut fourneau la prise de gaz serait-elle le plus avantageuse ? A mesure que l'on descend, la température dégagée par la combustion devient de plus en plus élevée et peut varier entre 1250° et 1850°. Mais en opérant la prise trop bas, on courrait risque de déranger gravement l'allure du fourneau, puisque les charges supérieures, ne subissant plus la torréfaction et le commencement d'élaboration dues aux gaz, arriveraient vierges dans les régions inférieures du fourneau. D'un autre côté, si la prise avait lieu près du gueulard, le gaz contiendrait trop de vapeur d'eau, qui, en vertu de son calorique spécifique élevé, diminuerait très-notablement la température de la combustion. M. Faber du Faur, conseiller des mines du Wurtemberg, inventeur du procédé, a cru se placer à Wasseralfingen, le plus favorablement possible entre les deux écueils, en établissant les

tuyaux de conduite à 0,31 de la bauteur totale, à partir du gueulard ; il pense que, selon des circonstances dépendantes de la nature des matières dont est composé le lit de fusion, ce chiffre peut varier entre 0,30 et 0,40. Le fourneau de Wasseralfingen marche au charbon de bois ; la prise de gaz s'y opère par plusieurs ouvertures pratiquées dans la paroi et qui débouchent dans un canal par lequel le gaz est conduit au lieu où on doit l'enflammer ; un jeu de registre en règle l'arrivée. La composition du gaz à la prise est à peu près la suivante :

Acide carbonique.	13
Oxyde carbonique.	23
Hydrogene.	5
Azote.	59
	100

la température de la combustion est supérieure à 1450°.

Nous nous occuperons maintenant des dispositions communes aux fourneaux où l'on brûle les gaz.

Puddlage au gaz.

Les figures 6, 7 et 8 représentent en élévation, coupe et plan, le four à gaz do Wasseralfingen.

L'air d'alimentation des fours à gaz doit être lancé dans le foyer, par la raison qu'un courant d'air naturel ne mélangerait pas suffisamment le comburant avec le combustible, et que, par suite, la température produite serait trop basse. Cet air doit être chauffé à une température élevée, par la raison que les gaz employés ne brûlent que difficilement. Ces conditions se remplissent en faisant passer l'air venant d'une soufflerie, par un système de tuyaux placés dans la flamme perdue de chaque four et où il acquiert une chaleur de 200 à 300 degrés centigrades et même davantage.

La grille est supprimée. Les gaz à brûler arrivent dans une caisse rectangulaire *a*, d'où ils sortent par une ouverture pratiquée dans la cloison, du côté de la sole ; ils sont brûlés par de l'air chaud lancé par sept tuyères *b*, qui viennent d'une secondo caisse *c*, placée derrière la première. Elles traversent celle-ci, font saillie de 0^{m},06

dans le four et sont posées parallèlement à la ligne de plus grande pente du pont : cette ligne est inclinée de 3°35′. Les gaz se mêlent et la combustion s'effectue principalement dans le canal de 0^m,13 de hauteur et de 0^m,96 de longueur qui se trouve devant les tuyères jusqu'à la sole. Ces fours ont des cheminées de faible élévation : 1 mètre au-dessus de la sole. Ils sont à circulation d'eau.

D'après M. Faber du Faur, il faut par four environ 8^{m3} de gaz par minute, la pression étant un peu supérieure à la pression atmosphérique. Quant à la quantité d'air nécessaire, il l'estime à 4^{m3} par minute, ce qui est inférieur à ce que l'on a obtenu par calcul ; mais on agit ainsi, à ce qu'il paraît, pour diminuer les chances d'oxydation par la flamme. Comme dans les fours ordinaires, on règle la température en faisant jouer des registres ; M. Faber du Faur conseille d'employer le *maximum* de chaleur pendant tout le cours de l'affinage.

Le travail ne présente guère du nouveau. Après avoir laissé chauffer pendant une demi-heure ou une heure, les morceaux de fonte dans une petite chambre *d* située dans la cheminée, on les charge dans le four en les disposant contre la paroi postérieure, depuis l'autel jusqu'au rampant. Cela fait, on étend dans le four des scories riches obtenues par le cinglage des loupes précédentes ; on en met surtout devant la porte de travail que l'on ferme ensuite exactement. La charge est d'environ 150 kil. de fonte ; on y ajoute de 13 à 18 kil. de battitures et quelquefois aussi de $^1/_2$ à $^1/_3$ kil. de peroxyde de manganèse. Après trois quarts d'heure, les morceaux commencent à atteindre la chaleur blanche ; on les retourne et on les place de manière que les parties les moins chaudes soient exposées à la plus forte action de la flamme. Cette opération se répète une ou deux fois. Lorsque la température est égale et suffisante, l'ouvrier cherche à diviser le fer, au moyen de son ringard, à l'amener à l'état sableux ; il a soin de ne laisser aucune partie du métal attachée à la sole ou aux parois latérales. Après ce travail, la fonte se liquéfie et les scories montent. On travaille à tour de bras pour bien mélanger le tout. Au bout de quelques minutes, le fer commence à s'élever en grumeaux à la surface du bain de scories. La tâche de l'ouvrier est de travailler le plus rapidement possible.

Comme le mélange d'air et de gaz est lancé avec assez de force dans l'intérieur du fourneau, il sort par la porte de travail un jet de flamme de 0m,30 à 0m,50 de longueur qui empêche l'ouvrier puddleur d'opérer aisément. Pour remédier à cet inconvénient, on fait arriver un filet d'air par un petit tuyau en fonte qui va s'évasant et qui débouche devant la porte de travail : cela suffit pour refouler la flamme et permettre à l'ouvrier de manœuvrer sans être incommodé.

On prend deux heures et demie pour puddler la fonte grise. Mais il suffit d'une heure trois quarts à deux heures, lorsqu'on traite de la fonte mazée ainsi que nous allons le dire.

Mazéage au gaz.

Le four à blanchir diffère peu du four à puddler. On y remarque, dans la paroi, en face de la porte de travail, deux tuyères inclinées de 45° à l'horizon et vers la cheminée, de façon à converger toutes deux à peu près vers le centre du bain ; elles débitent de l'air chaud qui vient frapper la masse ; elles sont appelées à produire le même effet que celles des fineries anglaises.

On chauffe aussi préalablement la fonte dans la petite chambre de la cheminée ; on la porte ensuite sur la sole ; la charge ordinaire est de 500 kil. Au bout de deux heures, le bain est parfaitement liquide ; l'ouvrier enlève avec un ringard les scories qui recouvrent la surface et les faits tomber sur le sol de l'usine. Ces scories bocardées rendent des grenailles de fonte. On jette dans le fourneau des battitures, des scories riches, parfois du minerai en poudre, pur et riche, etc., et l'on fait agir le vent des deux tuyères latérales. On ferme la porte et on abandonne à peu près l'opération à elle-même. L'ouvrier, après quelque temps, s'assure de l'état de l'opération en prenant un essai : il coule de la fonte dans un moule en fer et la plonge ensuite dans l'eau ; il la brise avec un marteau, et l'aspect intérieur lui révèle l'état du mazéage. On fait la coulée en plaques sur lesquelles on jette de l'eau et que l'on brise ensuite en morceaux, pour la livrer au puddlage. La durée totale de l'opération est de quatre heures ; le déchet n'est que de 2 à 4 p. %, selon le degré d'affinage que l'on a atteint.

Réchauffage au gaz.

Les fours à réchauffage ont beaucoup de ressemblance avec les fours de mazéage. La sole est en mortier réfractaire, composé d'argile réfractaire crue et d'argile réfractaire cuite.

On chauffe le four au blanc ; on plonge la fonte à réchauffer dans un brouet d'argile et de scories pulvérisées, et après l'avoir fait sécher et chauffer au rouge dans la cheminée, on l'introduit dans le four. Quand les lopins sont assez chauds d'un côté, on les retourne, et dès qu'ils ont atteint une chaleur uniforme et suffisante, on les étire.

Un chargement peut se composer de 4 à 6 quintaux (1) de lopins. Une demi-heure de séjour dans le fourneau suffit amplement au réchauffage de cette quantité de métal.

Il est bon qu'il y ait dans le four une couche de scories fluides d'environ 1 à 2 pouces d'épaisseur ; par ce moyen, on diminue le déchet qui est de 10 à 12 p. %. La qualité du fer est très-variable.

La diminution du prix de revient du fer au gaz, sur celui de toute autre méthode d'affinage, est considérable : elle peut s'élever à 8 francs au quintal métrique.

Générateurs à gaz.

Le grand progrès dû à l'introduction dans les arts, des combustibles gazeux, réside dans la possibilité de consumer des combustibles défectueux, soit parce qu'ils contiennent trop de cendres, soit parce qu'ils sont trop secs. Dans ce nouvel état de choses, les anthracites, les houilles sèches, les lignites, les mauvaises tourbes, peuvent augmenter de valeur.

M. Faber du Faur est déjà parvenu à employer de la mauvaise houille et de la mauvaise tourbe, en faisant arriver de l'eau sur le combustible incandescent et en brûlant le gaz obtenu dans un courant d'air chaud.

Dans les fabriques de fer où on ne fait pas la fonte et où, par conséquent, on ne peut user de gaz de haut fourneau, on produit les gaz

(1) Le quintal de Wurtemberg = $48^k,65$.

dans des générateurs qui peuvent affecter différentes formes. A Audincourt, ils ressemblent à de petits hauts fourneaux de $1^{m},60$ de hauteur, soufflés par deux tuyères. Le gaz est conduit par un tuyau dans le four à puddler, qui est à deux soles.

On se guide, pour l'affluence de l'air, d'après l'aspect de la flamme. Une flamme bleue et longue indique la présence de l'oxyde de carbone ; une flamme courte et jaunâtre montre, au contraire, qu'il y a excès d'air.

Le générateur est chargé de braise jusqu'à la gueule; il est bouché à la partie supérieure ; la prise a lieu latéralement. Pour détruire les cendres, on ajoute, comme fondant, de la terre argileuse et des scories de forge.

Puddlage à la flamme d'un feu d'affinerie.

A Montblainville, département de la Meuse, se trouve un four de puddlage alimenté par les gaz d'un feu d'affinerie. Ce feu occupe justement la place du foyer, dans le fourneau à puddler. La flamme qui s'en échappe passe sur la sole de ce four. Il paraît que cette manière de travailler est assez avantageuse et assez régulière. L'air arrive aussi par sept buses, après avoir été chauffé à 300° c. environ. Quant à la chaleur perdue, elle est parfaitement utilisée : elle chauffe l'air, elle chauffe la fonte sur une seconde petite sole, et est encore attirée par un ventilateur et chassée dans une meule où se dessèche le bois qui alimente le feu d'affinerie.

Le four à puddler traite les mêmes fontes que le feu d'affinerie. Le fer qu'il produit est bien supérieur, en qualité, à celui que donnent les fours à la houille dans les mêmes circonstances, et serait plutôt comparable au fer traité au bois.

En général, les fours à gaz se détériorent beaucoup plus vite que les fours à tirage naturel. La combustion s'opérant dans leur intérieur sous une pression supérieure à la pression ordinaire, les gaz tendent constamment à s'échapper au dehors par les joints des briques, et la moindre fissure s'élargit bientôt et peut amener la chute de la voûte, si on n'y apporte un prompt remède.

La température fournie par les gaz des générateurs est beaucoup plus élevée que celle donnée par les gaz des hauts fourneaux. D'après les analyses de M. Ebelmen, les premiers renferment 36,1 p. % de principes combustibles, tandis que les seconds n'en contiennent que 28,3 p. %.

Aucune de ces innovations n'a encore été adoptée en Belgique.

DEUXIÈME SECTION.

—

De la méthode allemande et de ses variétés.

On comprend sous la dénomination de *forges à l'allemande* celles où l'on affine la fonte, dans des bas foyers, à l'aide du charbon de bois et où l'on façonne en barres le fer obtenu au moyen du marteau.

L'historique de cette méthode n'est pas complétement déterminé. On sait que le premier progrès de la fabrication du fer, limitée, dans les premiers âges, à la réduction immédiate de minerais très-riches dans de bas foyers, fut l'exhaussement graduel de ces appareils jusqu'aux fourneaux à cuve nommés *stuckofen*. Ces derniers, originaires de Styrie, se répandirent dès le VIII[e] siècle dans d'autres pays ; leurs produits n'étaient pas toujours du fer malléable : ils renfermaient du fer plus ou moins carburé, que l'on soumettait à une épuration dans de petits foyers. C'est réellement là l'origine de l'affinage des produits mixtes. Bien que la fonte fut utilisée au XII[e] siècle, on ne peut la considérer comme prenant place dans les progrès de la fabrication du fer proprement dite, qu'à partir du XV[e]. Alors les *stuckofen* se transformèrent en *flussofen*, qui produisirent la fonte, et comme conséquence de cette modification, le foyer d'épuration, accessoire du premier fourneau à cuve, devint peu à peu le véritable foyer d'affinerie. Plus tard le *flussofen*, aux dimensions agrandies et quelque peu modifiées, pris le nom de *haut fourneau* qui se répandit rapidement à partir de la fin du XVI[e] siècle, accom-

pagné du foyer d'affinage. Ce dernier continua d'être employé, jusqu'à ce que l'épuisement des forêts vînt donner naissance aux méthodes à la houille. Néanmoins, la supériorité du fer obtenu par le procédé allemand est indispensable pour des fabrications spéciales et le fera conserver dans les pays qui ne sont pas totalement dépourvus de bois. Les variétés de cette méthode sont très-nombreuses, soumises qu'elles sont à la tradition, aux circonstances locales et à la nature des fontes. On la rencontre en Belgique, dans les provinces de Namur et de Luxembourg.

—

Les foyers que l'on emploie dans la méthode allemande portent différents noms : les *renardières* sont ceux qui servent à l'affinage et en même temps au réchauffage; les *affineries* sont ceux qui servent exclusivement à l'affinage : ils sont semblables aux premiers, avec lesquels on les confond souvent, mais le fer qui en provient est réchauffé dans des feux à part nommés *chaufferies.*

Le foyer d'affinerie, fig. 9 et 10, se présente sous l'aspect d'un vide à peu près rectangulaire, cloisonné de cinq plaques en fonte bien agencées, et qui portent différents noms. Celle sur laquelle repose la tuyère est la *varme a;* celle qui lui fait face est le *contrevent b;* on nomme *haire* ou *rustine* la plaque de derrière *c,* et *face du chio* ou *laiterol* celle de devant *d;* avec la sole *f* qui est la plaque de fond, elles forment le creuset, ordinairement situé à l'angle d'un massif en briques, dont la face supérieure porte le nom d'*aire* du fourneau. Le creuset est tenu à l'abri de l'humidité, soit par la nature du sol, soit par des moyens artificiels, tels qu'une préparation de la base ou en faisant reposer le fond sur une caisse en fonte.

Le laiterol est la seule formeture du creuset sur la face antérieure. Cette taque est percée, à différentes hauteurs, d'ouvertures nommées *chios,* par où peuvent s'écouler les scories. Sur le devant du creuset se trouve une plaque *g,* pour servir d'appui aux outils et retenir les matières qui remplissent le creuset et qui débordent; on y adapte, assez communément, une espèce de fourchette qui sert à nettoyer les ringards que l'on a plongés dans le creuset. Dans quel-

ques usines du Hartz, la *face de chio* manque complétement ou n'a que quelques centimètres de hauteur; dans ce cas le creuset est fermé sur le devant par du fraisil, au travers duquel on passe un ringard quand on veut faire écouler les scories.

Quelquefois la sole, posée sur un cadre, laisse sous elle un espace par lequel le forgeron peut faire arriver un filet d'eau destiné à la rafraîchir; mais, dans la crainte que la plaque ne se fêle, il est bon de ne la rafraîchir qu'alors que la loupe est sortie du feu; du reste, un ouvrier habile n'emploie jamais ce moyen.

Le foyer est surmonté d'une cheminée à hotte. Une bâche à eau *h* sert à refroidir les outils.

Les taques en fonte qui forment le creuset, ainsi que la tuyère et le vent, sont soumis à différentes dispositions, d'après les circonstances que présente l'affinage de la fonte. Ce sont là les artifices du feu. Plusieurs d'entre eux sont très-importants; nous allons les énoncer; ils constituent l'art du montage des feux, dont le seul précepte consiste à hâter la décarburation, si la fonte est pure, et à la retarder, si la fonte est impure.

Des dimensions et des positions des plaques du creuset. — Les dimensions ne varient, le plus souvent, qu'avec les quantités de fonte que l'on a l'habitude de traiter en une seule opération. Les creusets ont de $0^{m},60$ à $0^{m},84$ de longueur, de $0^{m},48$ à $0^{m},68$ de largeur et de $0^{m},18$ à $0^{m},27$ de profondeur. La distance de la haire au laiterol est toujours plus grande que celle de la varme au contrevent; cela donne plus de facilité pour travailler le fer et pour soulever la masse avec les ringards. On accorde à la position des plaques quelqu'influence sur la marche des opérations. La varme est la seule plaque qui se déverse quelquefois en dedans; elle porte alors la chaleur vers le contrevent. Le laiterol est généralement vertical. La rustine et le contrevent sont le plus souvent un peu évasés ou inclinés en dehors : quelques métallurgistes prétendent que cette disposition favorise la conversion de la fonte en fer ductile; mais, et quoi qu'il en soit, une inclinaison inverse rendrait l'extraction du masset tellement difficile, que l'on ne pensera jamais à en user, d'autant plus

que l'on a bien d'autres moyens pour retarder l'affinage, ainsi qu'on le verra. Quant à la sole, elle est souvent horizontale. En Allemagne, quand on veut accélérer l'affinage, on l'incline vers la varme; quand la nature de la fonte réclame un affinage ralenti, à cause d'une trop grande tendance à se coaguler avant l'épuration complète, on fait courir l'inclinaison vers le contrevent : c'est ainsi que sont montés, par exemple, les feux de France *à la Champenoise.*

De la profondeur du creuset. — On mesure cette dimension de l'œil de la tuyère au fond du creuset. Cette donnée du montage des feux est très-importante, et cependant on rencontre, à ce sujet, dans les ouvrages de sidérurgie, les assertions les plus diamétralement opposées. A cause de ce fait, nous serons explicites sur ce point.

Plusieurs métallurgistes pensent que la fonte se décarbure principalement dans le trajet que font les gouttes métalliques en se rendant de la gueuse au fond du creuset; c'est, entre autres auteurs, l'opinion de MM. Flachat, Barrault et Petiet, qui conseillent formellement une grande profondeur quand on veut favoriser la décarburation, et l'inverse dans le cas contraire. Nous pensons que cela n'est pas toujours très-exact : on ne peut nier, sans doute, que l'affinage commence pendant la chute des gouttelettes, mais il n'est important que lorsque le fondage est très-lent; c'est seulement quand la fonte est en fusion dans le creuset que l'affinage se poursuit réellement dans toute la masse par l'action des scories. Or, il est évident que, dans un feu profond, une moins grande quantité de vent arrivera jusqu'au bain; donc, l'affinage sera retardé : c'est pourquoi nous admettons, avec M. Karsten, comme règle générale, que la coagulation de la fonte devient d'autant plus prompte que le creuset a moins de profondeur. Si donc la fonte est pure, il y aura économie de temps et de combustible à la traiter dans un feu plat; si elle est impure, au contraire, la qualité du fer à obtenir exige que l'on baisse la plaque de fond.

De la position de la tuyère. — C'est encore là un des éléments importants du montage des feux; car dans la direction de la tuyère se portent l'agent d'affinage et la plus haute température du foyer. Aussi fera-t-on plonger le vent lorsqu'on désirera maintenir la liqui-

dité du bain pour parfaire l'épuration ; comme aussi une tuyère peu inclinée ou rasante tendra à hâter l'affinage pendant la fusion et sera favorable à une prompte coagulation, puisqu'elle portera davantage l'air vers la gueuse, tout en brûlant moins de charbon dans le creuset que si le vent était plongeant, c'est-à-dire en élevant moins la température ou en ralentissant la fusion.

Une certaine confusion se manifeste encore dans les auteurs, à propos de cet élément : nous croyons qu'elle vient surtout de ce qu'on différencie le traitement d'une fonte grise de celui d'une fonte blanche, en considérant principalement la liquidité relative que ces fontes possèdent naturellement, au lieu que le point important est la pureté du fer cru à traiter. Supposons, par exemple, qu'on ait une fonte blanche à affiner. Est-elle pure ou impure ? Si elle est impure, sera-t-il convenable de rendre le vent rasant et le creuset de peu de profondeur ? Non sans doute. L'affinage n'a pas que le carbone à séparer du fer : les autres matières étrangères sont d'une influence tellement grande sur la qualité du produit, qu'il est d'une importance sérieuse de les bien considérer. Si on allait hâter le changement de nature en profitant de la facilité avec laquelle la fonte blanche cède son carbone, bien qu'elle en puisse contenir autant que la fonte grise, on arriverait à produire rapidement du fer, mais ce fer serait souillé de matières étrangères qui le rendraient excessivement mauvais. On commettrait donc une faute en accélérant, dans ce cas, le départ du carbone ; il faudra, au contraire, maintenir la liquidité de la fonte pendant un certain temps pour favoriser le départ du soufre, du phosphore, etc., et l'on arrivera à ce résultat en opérant la fusion d'une façon suffisamment rapide pour que la décarburation soit faible ; c'est ce que produit un vent plongeant. Dans cette direction, l'air exerce moins d'action sur la gueuse que sur les charbons contenus dans le creuset, le résultat sera donc une élévation de température sans affinage pendant la fusion, ce qui fait que la fonte sera plus liquide dans le creuset. Il est vrai d'ajouter toutefois que, dans cette circonstance, quand on travaille le métal, le vent plongeant agit en revanche avec beaucoup plus d'énergie et hâte la décarburation ; mais, d'un autre côté, le degré de chaleur tend à maintenir

la liquidité. Il faut conclure de là que le plongement du jet d'air doit être employé pour l'affinage des fontes blanches impures. Mais si l'on a, comme on le verra dans la méthode wallonne, à traiter une fonte blanche pure, à quoi bon faire languir l'opération ? Un vent faible et rasant, effectuant une fusion lente, opérera en même temps une partie de l'affinage, ce qui se traduira finalement par une économie.

La tuyère est ordinairement en cuivre rouge, à œil demi-circulaire. Il en est de différentes espèces : les unes contiennent deux buses qui donnent un vent alternatif ; les autres n'en contiennent qu'une. Les auteurs ne sont pas d'accord sur le mérite relatif de ces deux systèmes ; l'expérience semble indiquer cependant que l'emploi d'une seule buse fournit un travail plus régulier.

Depuis quelque temps, on fait des tuyères à œil très-plat dans le but d'obliger le vent à s'étendre en nappe, et on s'en trouve bien.

L'inclinaison d'une tuyère se mesure par l'angle que fait son axe avec l'horizon ; elle peut varier entre 5° et 12°. L'inclinaison de 7° à 8° est celle qui donne la plus haute température à la gueuse. La saillie de la tuyère dans le foyer n'a aucun rapport avec la nature des fontes : elle sert à prévenir une trop prompte destruction de la plaque de varme. Enfin la tuyère peut encore affecter une déclinaison vers la rustine, alors la chaleur se porte davantage vers la partie postérieure du foyer où se trouve la gueuse, dont la fusion est par là accélérée ; une déclinaison vers le laiterol retarde l'affinage, car il se perd de l'air par les trous de chio.

Du vent. — Lorsqu'on veut mettre en fusion sans commencer l'affinage, on donne tout d'abord un vent très-fort. Lorsque la fonte est assez bonne pour autoriser un commencement de décarburation, pendant la liquéfaction, on donne un vent faible, afin de fondre lentement.

D'après Karsten, une bonne fonte grise exige, pendant la fusion, de $4^{mc},30$ à $4^{mc},60$ d'air par minute ; la fonte blanche en demande de $4^{mc},90$ à $5^{mc},50$. Quand on fait la pièce, il en faut de $6^{mc},20$ à $6^{mc},50$; et quand on *avale*, de $7^{mc},40$ à $7^{mc},70$. En affinant *par attachement*, comme il sera dit bientôt, on emploie jusqu'à 12 mètres cubes d'air par minute.

On comprend, d'après ce qui vient d'être dit, qu'un ouvrier qui connaît bien la nature de sa fonte peut beaucoup sur la conduite do l'opération en disposant convenablement les artifices du feu. On rencontre des usines cependant où l'on s'occupe peu du montage des foyers ; que la fonte soit grise, qu'elle soit blanche, pure ou impure, rien ne change. Si la masse fondue est trop liquide, on jette des battitures dont on sait la fonction ; s'il y en a trop, on ajoute des cailloux et l'on continuo de la sorte jusqu'à ce qu'on ait du fer qui, du reste, a tous les droits possibles à ne pas être homogène. Il est difficile d'appeler travail un pareil gâchis.

La fonte quo l'on traite aux feux d'affinerie est quelquefois en plaques, mais le plus souvent elle est en gueuse. Dans les usines de l'Allemagne, la gueuse est placée vis-à-vis do la tuyère et dans la même direction ; dans les forges françaises, ollo est introduite dans le creuset par une ouverture pratiquée dans lo mur de derrièro parallèle à la rustine. Les gueuses de France (*k* dans la figure) ont plusieurs défauts : elles sont trop fortes, elles se manient difficilement, demandent plus de temps pour fondro, et ne permottent pas de traiter plusieurs espèces de fer cru assorties pour les affiner de la manière la plus avantageuse.

PRÉPARATION DES FONTES.

Dans beaucoup do pays, avant de livrer la fonto à l'affineur, on lui fait subir une préparation pour la rendre blancho si elle ne l'est pas, ou pour commencer la décarburation ; dans tous les cas, le but est de rendre l'affinage plus facile. Ces sortes de préparations sont de quatre espèces : le *blanchîment*, le *mazéage*, le *grillage* et la *granulation*.

Blanchîment par addition de minerai dans le haut fourneau. — Lorsqu'on dispose d'un minerai très-riche, très-pur, très-peu chargé de silice, on peut blanchir la fonte dans le creuset même du haut fourneau, en introduisant par le trou de tuyère environ 15 à 20 kil. de ce minerai concassé, à peu près deux heures avant la coulée. Au bout de quinze minutes, le laitier s'écoule en grande abondance ;

lorsque cet écoulement s'est ralenti, on brasse la fonte dans le creuset avec un ringard; on fait ensuite une nouvelle addition et l'on continue ainsi tant qu'il est nécessaire, pour que la fonte devienne entièrement blanche.

Blanchîment par l'action du vent. — Dans l'Eiffel, pour brûler une partie du carbone que contient la fonte, on détourne le vent et on le dirige vers la fonte que renferme le creuset. A cet effet, on forme au-dessus de la tuyère une sorte de nez en terre glaise ou en scories molles qui se refroidissent : le vent venant s'y engouffrer, se trouve rabattu sur la surface du bain métallique. Ce nez a une saillie de $0^m,05$ à $0^m,06$. En le formant, l'ouvrier pousse le laitier vers la tympe, afin d'en faire un barrage qui la ferme et empêche l'air de s'échapper par cette ouverture. On fait agir le vent de la sorte pendant un temps qui varie de une à quatre heures, selon les dimensions du creuset et la marche du fourneau. La fin de l'opération est annoncée par une foule de petites étincelles qui jaillissent du creuset dans la tuyère. Pendant ce traitement, la fusion des matières est ralentie dans le haut fourneau, mais non pas tout à fait interrompue; la flamme du gueulard diminue; le fourneau se remet du reste assez facilement en train. Après cette préparation, une fonte qui aurait été grise et à gros grains peut être d'un blanc d'argent et poreuse.

Dans le Berry, à l'effet de ne pas trop ralentir la descente des charges, l'une des tuyères reste horizontale, tandis que l'autre reçoit de temps en temps une direction plongeante.

Ces pratiques sont simples et économiques, puisqu'elle dispensent d'un réchauffage pour opérer le blanchîment; mais, en agissant à l'intérieur du fourneau, elles peuvent l'exposer à un dérangement

Blanchîment par refroidissement subit. — Il est appliqué aux fontes à leur sortie du haut fourneau. Il consiste à arroser d'eau la coulée; la fonte devient d'autant plus blanche que le refroidissement a été plus rapide.

Depuis longtemps en Styrie et en Carinthie, on opère la coulée dans des bassins auxquels on a donné dans le sable la forme de cul d'œuf. On arrose les laitiers pour les enlever, puis on fait affluer

l'eau sur le bain de fonte, dont la surface, par suite, se solidifie. On enlève la plaque ainsi formée ; on fait un nouvel afflux d'eau et on continue de la sorte jusqu'à ce que toute la masse soit convertie en plaques, qui reçoivent le nom de *blettes*, et dont chacune pèse de 10 à 20 kil. Ces blettes, dans certaines contrées, sont encore soumises, avant l'affinage, à un grillage, ainsi qu'il sera dit. Les fontes très-impures ne doivent pas être blanchies, par la raison que, dans ce cas, une accélération d'affinage rendrait impossible l'élimination des matières nuisibles.

A l'usine de Seraing, on coule la fonte dans des lingotières ayant $2^m,50$ de long, $0^m,50$ de large et $0^m,12$ de profondeur, préalablement enduites d'une mince couche de chaux vive. Aussitôt qu'une lingotière est remplie, on arrose la fonte d'une grande quantité d'eau, et l'odeur d'hydrogène sulfuré qui s'exhale indique assez l'épuration produite ; cette fonte est affinée par la méthode anglaise.

Mazéage. — Cette opération n'est autre chose qu'un blanchîment que l'on fait subir aux fontes en gueuses en les refondant.

Mazéage de Styrie. — Cette méthode se rencontre dans les provinces méridionales de l'Autriche et dans plusieurs contrées de la France. Le foyer est semblable aux affineries ordinaires, mais plus petit ; la tuyère est tellement plongeante que sa direction rencontre le fond en son milieu. Pour opérer, on remplit le foyer de charbon qu'on allume ; on approche la fonte vis-à-vis de la tuyère, on la recouvre de charbon et on donne le vent. On n'ajoute pas de scories pendant la fusion, parce que la fonte n'étant pas très-pure, on désire qu'elle reste grise et qu'elle ne soit que disposée à blanchir. La fusion terminée, on arrête le vent, l'ouvrier retire le charbon qu'il éteint, il enlève le laitier que l'on a laissé dans le creuset pour préserver la fonte de l'action directe de l'air. Cela fait, on arrose d'eau le bain et l'on retire les blettes ainsi qu'il a été dit. Ces blettes ne servent à l'affinage qu'après avoir été grillées.

Mazéage de Souabe. — Dans le mazéage précédent on ne traite que de la fonte grise, dans celui-ci on traite aussi la fonte blanche ; il ne diffère de l'autre qu'en ce qu'ici on commence l'affinage par l'ad-

dition de scories douces. Le creuset est souvent en maçonnerie, tapissé de brasque; la tuyère est horizontale; quand la fusion est complète, on laisse la masse une demi-heure dans le foyer avant de l'en retirer en morceaux. On traite en une fois de 150 à 200 kil. de fonte. La fonte ainsi préparée subit quelquefois un grillage avant de passer à l'affinage.

Mazéage du Nivernais. — Ce traitement participe des deux précédents. On ajoute dans le feu d'affinerie des scories douces On opère la coulée en une plaque unique, sur du sable humecté. Cette plaque, avant de se figer, est sillonnée régulièrement par des lignes tracées avec un ringard et qui déterminent ainsi de petites galettes nommées *mazelles*, que l'on sépare après refroidissement. L'opération dure de deux heures et demie à trois heures pour un produit de 250 kil. La consommation en charbon est de 614 kil. par tonne de fonte mazée, provenant de 1130 kil. de fonte brute.

Ce travail est parfois suivi d'un grillage.

Mazéage au four à réverbère. — Ce traitement a lieu avec addition de scories.

A l'usine de Kœnigsbronn (Wurtemberg), le four dont on se sert (1) est un *weiss-ofen* analogue aux fours à puddler, avec cette modification que la paroi en regard de la porte de travail, laisse déboucher deux tuyères dont le vent, préalablement chauffé, est dirigé sur le métal.

A l'aide de cuillers en tôle enduites d'une mince couche de sable réfractaire, on puise la fonte dans l'avant-creuset d'un haut fourneau pour la verser sur la sole du *weiss-ofen*, où la flamme du foyer et le vent chaud concourent à l'épuration. La dispersion de l'effet chimique se trouve favorisée par le mouvement que produit, dans le liquide, l'impulsion donnée au vent.

La charge est de 300 à 400 kil. de fonte brute. Ce four est nourri à la tourbe séchée, il est maintenu au blanc soudant et consomme environ 280 kil. de tourbe par tonne de fonte blanchie. La durée d'une opération est d'une heure et demie à deux heures. Au

(1) De Billy, *Annales des mines*, 3e sér., t. XIV, p. 87.

commencement, on ajoute à la fonte environ 20 kil. d'un mélange composé de

100 parties en poids	de scories riches pulvérisées,	
25	id.	de minerai en grains,
6	id.	de calcaire.

On accorde à ce mélange la propriété de faciliter la décarburation, ainsi que la séparation des matières étrangères. Des expériences comparatives ont établi que le minerai en grains donnait du nerf au fer.

Lorsque l'opération est à sa fin, on fait écouler les matières par une ouverture pratiquée au niveau de la sole et au-dessous de la porte de chargement. La fonte blanchie se rend dans un moule à grande surface, où elle forme une plaque de 0^{m},03 d'épaisseur que le laitier recouvre. On arrose celui-ci d'eau et on l'en sépare.

La main-d'œuvre est nulle : on charge et on coule, voilà tout. Le déchet est également nul, compensé qu'il est par l'addition des scories.

Les plaques de fonte blanchie sont cassées en morceaux et traitées au foyer d'affinerie. A Kœnigsbronn, les avantages apportés par cette préparation ont été : un perfectionnement dans l'affinage qui jusqu'alors était fort retardé ; en second lieu, la substitution de la tourbe à une partie du charbon de bois, lequel est à un prix fort élevé dans cette localité.

Grillage. — Le grillage est également appliqué aux blettes des hauts fourneaux et à celles qui proviennent du mazéage styrien. Le but que l'on se propose est de faire perdre au fer quelque peu des matières qui l'accompagnent, en l'exposant au rouge, à l'action d'un oxydant tel que l'air ou les scories.

Grillage en four. — Dans la Styrie, le Salzbourg et le Tyrol on emploie, pour griller les blettes, des fourneaux de deux mètres environ en toutes dimensions, dans œuvre. Ils se composent d'une sole recouverte d'une voûte fermée à l'une de ses extrémités. A fleur de sole, se trouvent percés dans les côtés de la voûte un certain nombre d'évents nécessaires au tirage : les vapeurs et la fumée

trouvent issue par la clef de la voûte. Sur la sole en fraisil, on dispose, à l'aide de gros charbons, des canaux qui aboutissent aux évents et qui sont destinés à recevoir le feu. On charge ensuite de champs, deux ou trois rangées de blettes, séparées les unes des autres par du fraisil. On recouvre ces rangées d'un lit de fraisil et l'on établit par dessus une seconde pile de blettes. Cela fait, on mure la porte de chargement, on met le feu par les évents que l'on clôt presque totalement pour que le grillage ne soit pas accéléré. Pour défourner, on démolit la porte.

Grillage sur aire. — Dans la Carinthie, la Carniole et aussi dans la Styrie, on emploie le grillage sur aire nivelée et bien battue. Un canal, construit le plus souvent en pierres sèches et ayant de 2 à 3 mètres de long, sur une largeur et une profondeur de $0^m,20$, court au milieu de l'aire. On le remplit de charbon et il est mis en communication avec une machine soufflante quelconque. La surface supérieure de ce canal est fermée par des plaques en fonte entre lesquelles on ménage des intervalles C'est sur ces plaques que l'on dispose les blettes séparées par du fraisil. Tout le système est recouvert par une couche de petits charbons retenus soit avec des plaques en fonte, soit avec du fraisil humecté et des planches que l'on arrose d'eau. On met le feu dans les canaux et on souffle faiblement.

Grillage sur scories. — Dans le Nivernais, on emploie un grillage qui n'est praticable que là où le charbon est à bas prix. On fait un trou dans des scories, on y superpose des couches alternatives de charbon et de mazelles obtenues par le mazéage nivernais : le tout est recouvert de scories. On met le feu et on souffle. Il paraît que la dépense en charbon est de 45 p. $^0\!/_0$ du poids des mazelles !

Granulation. — Dans quelques usines du Salzbourg, de la Carinthie et de Berchtolsgaden on a réduit la fonte en poussière. Pour en arriver là, on fait rougir la fonte en plaques et on la porte dans cet état sous la panne très-large d'un marteau qui la pulvérise.

DE L'AFFINAGE PROPREMENT DIT.

Nous décrirons d'abord l'affinage selon la méthode allemande, en signalant toutes les phases, toutes les modifications qu'il peut présenter et qui sont nécessitées surtout par la nature très-variable du fer cru ou consacrées par les usages traditionnels des pays où on les rencontrent. Nous énoncerons ensuite en quoi consistent les méthodes qui se rangent sous le type allemand et dont les dénominations sont assez nombreuses.

Avant de procéder à un fondage, on prépare le creuset On en garnit les plaques de fraisil; on en retire les scories; on jette au fond du creuset du menu charbon; selon que la fonte est de nature plus ou moins aisément convertible, on ajoute moins ou plus de scories riches, dont la fonction a été expliquée: on charge en charbon de bois. Le foyer étant préparé, on avance la gueuse qui se trouve devant la tuyère et un peu au-dessus, et on la pousse à mesure qu'elle fond. On charge en charbon et on donne le vent. La température s'élève, la fusion d'une certaine quantité de fonte s'opère; on peut ensuite reculer la gueuse.

Les soins de l'ouvrier, pendant ce temps, sont portés sur divers points : il nourrit le feu en charbons qu'il arrose et qu'il tasse; il fait écouler les scories crues qui se forment alors en trop grande abondance, mais sans jamais mettre la fonte à nu; lorsque la liquéfaction de la quantité de fer cru que l'on veut traiter est accomplie, il s'assure de l'état de la masse en la sondant avec son ringard. Si l'outil pénètre sans effort, c'est que le métal est encore cru; l'ouvrier ajoute, dans ce cas, des scories riches, afin de mettre le feu en bonne allure, c'est-à-dire afin de faire prendre à la masse la consistance pâteuse. Si, au contraire, la conversion est trop hâtée, eu égard au degré de pureté de la fonte, on diminue la quantité de scories; on ajoute quelquefois encore de la brocaille, des jets de moulerie qui, par leur liquidité, retardent la coagulation et s'opposent à un changement de nature trop prompt pour qu'on puisse obtenir du bon fer. S'il arrivait que ce dernier remède fût inefficace, on pourrait ajouter du sable : l'emploi du quartz se remarque même assez souvent dans les

forges françaises; son effet est évidemment de rendre à la scorie riche sa crudité, c'est-à-dire de lui ôter sa propriété d'attaquer le carbone de la fonte, mais il cause toujours un déchet qui en rend l'usage très-vicieux et d'autant plus que son radical peut aigrir le fer. Au lieu de se servir de brocaille, le forgeron qui connaît la nature de sa fonte, peut détacher de temps en temps, pendant la fusion, par un coup de ringard, l'extrémité amincie de la gueuse et la faire tomber dans le creuset.

Ces conditions étant remplies, on procède au travail de la pièce.

Soulèvement. — La fonte qui se trouve dans le creuset a subi un commencement d'affinage par l'action du courant d'air pendant la fusion et surtout par celle des scories : elle a donc perdu de sa fluidité, et, de plus, la température du fond du creuset tend aussi à déterminer sa solidification. Il y a donc nécessité, pour qu'elle puisse continuer de s'affiner, de la transporter où la température est plus élevée, afin de la remettre en fusion et de la livrer de nouveau aux agents d'affinage ; c'est là ce que l'on nomme un *soulèvement.*

Pour l'effectuer, on enlève les charbons, on met la fonte à nu et on détache du chio et du contrevent les *sornes*, scorie douce durcie, et dont une partie adhère à la loupe. Ensuite l'ouvrier enfonce successivement son ringard dans les deux coins qui touchent au laiterol ; il s'en sert comme d'un levier pour détacher le gâteau de fonte, qu'il ramène vers le contrevent et qu'il élève au-dessus du niveau de la tuyère. Un aide rempli alors le foyer de charbon, sur lequel l'affineur renverse la loupe, de façon que la partie qui touchait au contrevent se trouve en face de la tuyère dans sa nouvelle position, et *vice versâ;* ce soin est pris dans un but d'homogénéité, afin que toute la masse ait subi également l'atteinte de l'air. On recouvre de charbon le gâteau ainsi placé et on donne un vent faible afin de ne pas précipiter cette seconde fusion, si l'affinage n'est pas avancé ; dans le cas contraire, on peut donner un vent fort, et, selon l'occurrence, on jette une pelletée de battitures dans le feu.

Il arrive quelquefois que la masse soulevée ne jouit pas d'une consistance très-grande et qu'elle se divise en plusieurs morceaux. Cela

provient de ce que la crudité du fer n'a diminué que faiblement pendant la première période. Les fragments sont alors retirés par l'ouvrier qui les place sur l'aire, pour les disposer ensuite dans le foyer comme il aurait fait d'un gâteau entier, c'est-à-dire en ramenant vers la tuyère les parties les moins affinées qui se trouvaient au contre-vent. Il peut encore se présenter que des parties soient décarburées au point qu'on ne les fasse pas refondre la première fois et qu'on ne les remette au feu que pour la dernière phase, nommée *avalage;* d'autres fragments peuvent au contraire être tellement crus qu'on y ajoute quelque peu de sornes pour les refondre. Le meilleur degré d'affinage de la loupe, pour opérer un soulèvement, c'est celui par lequel elle se divise en trois ou quatre parties.

A mesure que les charbons se consument sous la loupe, l'ouvrier doit les remplacer par ceux qui la recouvrent : de cette façon il évite des refroidissements et force toute la masse à entrer en fusion pour gagner le fond du creuset. Lorsqu'en effet elle y est redescendue, l'état de sa décarburation peut le déterminer à lui faire subir un second et même un troisième soulèvement. Ces opérations ne se font pas sans dépense : on y perd du temps, on y brûle du charbon; aussi, quand on est obligé de faire plusieurs refontes, doit-on bien s'assurer qu'elles ne sont pas occasionnées par un mauvais montage du feu ou par l'inhabilité de l'ouvrier. Un affinage retardé amène toujours beaucoup de scories crues dans le foyer : on les fait écouler avant le premier soulèvement, pour lequel on ajoute alors une pelletée de battitures.

Dans les usines où la surveillance est ou mal faite ou inintelligente, on rencontre des ouvriers qui opèrent la fusion de la gueuse en laissant à la fonte presque toute sa crudité, de sorte que sa liquidité oblige à la refroidir pour pouvoir la soulever. Ces ouvriers arrosent d'eau la loupe et attendent un temps qui peut s'élever jusqu'à une demi-heure, avant que le refroidissement ait donné la consistance nécessaire. M. Le Châtelier dit avoir vu, en Silésie, des foyers presque remplis d'eau. Les vices d'une pareille pratique sont évidents : tout ce temps que l'on perd, ce refroidissement qui repré-

sente une dépense en charbon, puis enfin l'imperfection de l'affinage en lui-même, dénotent l'ineptie de ceux qui l'emploient.

La consistance de la pâte métallique qu'il tâte avec son ringard et la couleur de la flamme sont les indices auxquels l'affineur reconnaît que les soulèvements sont suffisants : lorsque de bleuâtre ou de rougeâtre qu'elle était, la flamme est devenue d'un blanc éclatant, ou lorsqu'il jaillit des étincelles brillantes, on est assuré que l'opération est assez avancée pour permettre de procéder à l'avalage, qui est le dernier soulèvement.

Avalage. — Cette manœuvre se pratique sous l'influence d'une haute température que produit la machine soufflante en pleine activité. L'ouvrier soulève la masse, qui alors est parfaitement solide, au-dessus de la tuyère en l'appuyant contre le contrevent. On sonde ensuite le feu en tous sens pour en retirer les fragments métalliques qui pourraient y demeurer; après quoi on ramène au milieu du creuset les charbons embrasés sur lesquels l'affineur renverse la loupe qu'il recouvre de charbon frais. On presse le vent de façon à obtenir assez de chaleur pour mettre en fusion la fonte déjà affinée. Dans ces conditions, propices à l'épuration complète de la masse, il se produit un certain bouillonnement que détermine le départ des dernières parties de carbone. L'avalage est terminé quand la loupe est redescendue dans le bain de scories riches qui se sont formées et qui occupent le fond du creuset.

Dans le but de réaliser des économies de temps et de combustible, on a quelquefois essayé de se dispenser de l'avalage; on n'a jamais atteint, quant à la qualité du fer, des résultats qui permissent de continuer.

Après l'avalage, se trouve terminé le travail chimique. On livre alors le fer aux efforts mécaniques qui doivent le purifier des scories dont il est imbibé et lui donner la compacité, la ténacité qu'en réclament les arts qui l'utilisent. A cet effet, on retire la loupe du feu, en s'aidant de ringards en guise de leviers; on en détache les sornes, on la fait tomber sur le sol de l'usine; le forgeron la saisit à l'aide d'une écrevisse et la traîne vers l'enclume. Quelquefois, on la place

préalablement sur une plaque en fonto nomméo *refouloir*, où on la bat à coups de masse. Afin qu'elle ne se salisse pas, on dispose sur le sol des taques en fonte, partout où la loupe doit passer.

Sans perdre de temps, on prépare le foyer pour un nouveau fondage.

De l'affinage par attachement. — Cette pratique est un accessoire de la méthode allemande que l'on rencontre dans quelques usines. On l'exécute lorsqu'après avoir conduit les opérations ainsi qu'il a été dit, on a effectué le soulèvement de la loupe pour l'avaler et que celle-ci commence à bouillonner. Dès lors, pour prendre le fer par attachement, l'affineur enfonce son ringard sous la loupe qui se trouve encore au-dessus de la tuyère, et, sans la toucher, il promène en tous sens son outil en le faisant tourner sur lui-même et en maintenant l'extrémité à peu près dans un plan horizontal qui passerait par le museau de la tuyère. Il essaie, en même temps, de former sous la loupe et sans la faire descendro, une espèce de cavité destinée à lui rendre plus aisé le maniement de son ringard. Pendant cette manœuvre, des gouttelettes ferreuses s'échappent do la loupe, viennent tomber sur la barro de fer solide et y subissent une épuration très-rapide que l'on ne peut attribuer qu'à la facilité avec laquelle l'air, agent d'affinage, peut s'insinuer entre lo corps mouilló et le corps mouillant. L'affineur continuo à promener son ringard, les rudiments ferreux s'y accumulent, et lorsque leur poids est assez considérable, il retire l'outil et le plongo dans l'eau; on détache, au moyen de quelques coups de marteau, les scories qui y adhèrent et on laisse le fer pris par attachoment se refroidir dans le liquide; après quoi, on l'introduit de nouveau et l'on continuo jusqu'à ce que le poids du fer attaché soit de 8 à 10 kil. Une telle masse est alors étirée en barre et séparéo du ringard d'un coup de hacheron. Dans l'entre-temps, une partie du fer se refroidit dans l'eau; on introduit dans le foyer un second ringard, auquel vient so fixer un nouveau lopin. On retire ainsi le plus de fer que l'on peut. Lo nombre des petits lopins varie avec la nature du fer et l'adresse de l'ouvrier; quelquefois, on n'en peut retiror que deux ou trois;

d'autres fois on en retire jusqu'à neuf ou dix. Le vent, pendant tout le temps quo dure le travail par attachement, doit être à une haute pression, que l'on diminue à la fin, pour traiter la loupe qui reste dans le foyer comme on traite toutes les loupes.

Le fer venant des lopins pris par attachement est supérieur en qualité à celui qui vient de la loupe. D'après quelques métallurgistes, ce dernier perdrait de sa valeur ; ce point est contesté ; néanmoins il semble que l'ouvrier, tout occupé de l'attachement, doit négliger quelque peu le fer qui gagne le fond du creuset.

Il est des ouvriers qui, pour obtenir en apparence plus de fer par attachement, plongent leur ringard dans la masse qui a déjà gagné le fond ; ce n'est évidemment plus la même chose et le fer ne jouit plus des mêmes qualités.

Le travail par attachement présente encore l'avantage d'accélérer l'étirage en barres.

Affinage par morceaux. — Il existe des feux où, lorsque la fusion a été opérée et que la décarburation est en train de s'effectuer, l'affineur s'empare des morceaux les mieux épurés, qu'il distinguo à leur éclatante blancheur ; il les retire successivement du foyer ot les livre au forgeron. Cette inégalité dans l'affinage ne promet pas une homogénéité bien grande. Il paraît du reste que ce fer est toujours aciéreux.

FORMATION DES BARRES.

L'étirage en barres a lieu, dans les forges à l'allemande, à l'aide du marteau seulement. Pour le cinglage des loupes et les fers de gros échantillon, on emploie communément des marteaux *à soulèvement*, c'est-à-dire dans lesquels le point d'application de la puissance se trouve entre la tête et l'axe de rotation du manche. Le poids de la tête varie de 200 à 400 kil.; il agit à l'extrémité d'un manche do 2^m,40 à 2^m,50 de longueur. Les marteaux allemands, qui sont les plus légers, ont une levée de 0^m,70 à 0^m,80, et frappent de 90 à 120 coups par minute ; les marteaux français, ou les plus lourds, n'ont qu'une levée de 0^m,55 et une vitesse de 75 à 80 coups par

minute. Ils sont généralement munis d'un *rabat*, qui est une pièce de bois agencée dans la charpente, contre laquelle vient buter le marteau et dont l'élasticité augmente l'effet de celui-ci en le rechassant. Une bague à cames, qui reçoit son mouvement d'une roue hydraulique, les mène. L'enclume, en fonte, est un peu élevée au-dessus du sol ; on y place la loupe de telle façon que le côté qui était tourné vers le contrevent, se trouve au-dessus, et cela par la raison que le fer est moins bien soudé de ce côté et que les premiers coups de marteau sont toujours les plus efficaces. On cingle d'abord très-lentement et toujours au même point, afin de faire jaillir les scories à peu près également de tous les points de la surface ; ensuite, on augmente la rapidité des coups et en même temps le forgeron tourne la pièce en tous sens en présentant successivement les faces à la panne ; il arrive ainsi à façonner la loupe en prisme grossier.

Selon le poids de la loupe et les usages des usines, on fait une seule pièce ou bien on coupe la masse en plusieurs morceaux au moyen du marteau et d'un hacheron. Chacun de ces morceaux se nomme *lopin*. S'ils possèdent encore assez de chaleur, on en étire un en barre tout de suite ; mais généralement, il faut les reporter tous préalablement dans un feu de chaufferie.

Il est des établissements où l'on réchauffe les lopins dans un autre feu que celui qui a servi à l'affinage, bien qu'il lui soit semblable ; ailleurs, un seul foyer sert aux deux usages. Il y a une certaine méthode pour disposer les lopins dans la chaufferie, car, sous l'influence de l'air insufflé et de la température à laquelle on les porte, il s'opère toujours un supplément d'affinage ; de sorte que les morceaux qui sont les moins épurés, tels que les lopins provenant de la partie de la loupe qui était exposée au contrevent, devront être placés de préférence devant la tuyère. On les retourne de temps en temps dans le feu, afin d'exposer également toutes les faces à la chaleur, et lorsque l'un d'eux est arrivé au blanc soudant, on le saisit avec des tenailles et on le porte au marteau. Là, on l'étire en barre, dans son milieu d'abord, en laissant une petite masse à chaque bout ; sous cette forme, la barre s'appelle *encrenée;* on donne ensuite

une chaude à l'un des bouts, on l'étire et on a une *maquette;* on chauffe le gros bout restant et on lui donne l'équarrissage du reste de la barre. Quelquefois, on fait tout d'abord la maquette en étirant la moitié du lopin. Pour donner les dimensions voulues à la barre, le marteleur se guide par un *échantillon :* on nomme ainsi un petit morceau de fer mince, dans lequel on a pratiqué des creux qui mesurent l'épaisseur et la largeur à donner aux barres. On procède successivement ainsi avec chacun des lopins. Ce travail marche de front avec un nouveau fondage.

Pour l'étirage du petit fer, on emploie plus spécialement les marteaux *à bascule,* dans lesquels l'axe de rotation est entre la tête et le point d'application de la came; ils sont plus légers et marchent avec une vitesse plus grande que les premiers.

Le déchet sur la fonte peut varier entre 25 et 36 p. °/₀; il dépend, ainsi que la consommation en combustible, de la méthode suivie, de la nature des matières premières et de l'habileté des ouvriers. Il sera donné plus loin des chiffres relatifs aux diverses méthodes.

Un feu occupe cinq ouvriers : un maître affineur, un marteleur, deux chauffeurs et un aide. Tous, hormis l'aide, sont à la sortie de la loupe; le marteleur la saisit et la cingle, aidé qu'il est par les chauffeurs qui la manient; le maître porte et dispose les lopins au feu, monte le foyer et soigne les soufflets; les autres se partagent le reste des soins.

—

Les opérations qu'on vient de décrire présentent l'ensemble de tout ce qui se fait dans les forges à l'allemande. Mais, en raisonnant des règles généralement reconnues propres au traitement des diverses fontes, on n'a pas entendu avancer qu'elles fussent adoptées dans tous les pays; la tradition a quelque part encore force de loi; d'un autre côté, on ne traite pas partout la même quantité de fonte en un fondage; il est des opérations dont des circonstances locales peuvent dispenser; il en est d'autres aussi que l'usage a consacrées avec ou sans raison; enfin les exigences commerciales peuvent peser aussi sur la fabrication. De ce faisceau de considérations sont dérivées des méthodes nombreuses, que nous allons entreprendre de décrire

sommairement sous les dénominations qu'elles empruntent aux contrées où on les rencontre.

Méthode comtoise.

Cette méthode est en usage dans la Franche-Comté ; c'est aussi celle que l'on rencontre en Belgique.

Les fontes que l'on traite en Franche-Comté sont le plus souvent grises ou noires, à gros grains. Les feux ont quelquefois deux tuyères posées sur la varme ; dans ce cas, on remarque que cette plaque est moins haute du côté de la rustine que du côté du chio, afin que la tuyère de derrière puisse être placée un peu plus bas que celle de devant. Le fond s'incline vers l'angle du chio et du contrevent. Les dimensions principales sont : longueur (1) : = de $0^m,70$ à $0^m,78$; largeur : = de $0^m,47$ à $0^m,54$; profondeur : = de $0^m,19$ à $0^m,22$; inclinaison de la tuyère : = de 7° à 10°.

Prenons une opération au moment où la loupe vient d'être retirée du feu pour être cinglée : dès lors, un nouveau travail commence. On enlève la sorne ou laitier riche, qui, en se détachant de la loupe, est resté au fond du creuset ; on garnit le pourtour de celui-ci de menu charbon et on *met avant*, c'est-à-dire qu'on fait avancer la gueuse sur des rouleaux, afin qu'elle présente le flanc au vent. On estime que la position où l'action de l'air est la plus complète est celle où la fonte se trouve à $0^m,03$ ou $0^m,04$ du contrevent, à $0^m,10$ ou $0^m,12$ au-dessus de la nappe d'air et de façon que son extrémité ne dépasse pas de plus de $0^m,06$ l'axe de la tuyère.

En remplissant le foyer de charbon, on dépose sur la gueuse des morceaux de sornes que l'on a précédemment retirés du feu ; puis on donne le vent. La fusion rapide de ces scories riches forme au fond un lit sur lequel la matière ferreuse, provenant de la gueuse, vient tomber. On fond environ 100 kil. de fonte. Pendant la fusion, l'ouvrier arrose d'eau le charbon, afin que le fraisil ne soit pas emporté par le vent, et, en le comprimant, il parvient à en former une sorte de voûte ; il fait sortir les scories pauvres qui recouvrent le fer, par

(1) Comptée au niveau de la face du chio

un trou de chio placé de façon qu'il en reste toujours assez pour préserver le métal; il veille à ce quo les tuyères ne s'obstruent pas, avance la gueuse selon lo besoin et jette soit un peu de quartz, soit un peu d'argile, si les scories ne sont pas assez abondantes ou suffisammont liquides.

Pendant eette première partio de l'opération, on róehauffe, dans ee même foyer, les pièces à forger du travail précédent. Aussitôt qu'elles en ont été retirées, on recule la gueuse; ensuite, à l'aide d'un ringard, l'affineur détaehe des plaques les scories durcies, les amène eontre la paroi, les élève et parvient, avec un croehet, à les tirer sur l'aire : cetto espèce de sorne est composée en grande partie do fraisil durei et n'est d'aueun usage; cette manœuvre porte le nom do *désornage*. Après le désornage, le forgeron procèdo au soulèvement, et lorsquo le fer est redescendu affiné en partie sur la plaque du fond, il y enfonce son ringard et eherche à reconnaître, à leur cohésion, les parties qui ont eneore besoin d'être exposéos aux agents épurateurs : elles sont rouges et n'adhèrent que faiblemont à l'outil; celles qui sont blanches et qui s'attaehent fortement à la barre sont, au eontraire, abritées du vent, et, dans ce but, plaeées soit contre la haire, soit contre le contrevent. Pour accélérer la coagulation, on ajoute à plusieurs reprises des scories ou bien des *sifflets :* on nomme ainsi, en Franche-Comté, les dés de fer qui s'attaehent au ringard; ils font probablement sur le bain l'effet que produit la barre de fer dans l'affinage par attachement. Après le soulèvement, on exécute l'avalage; on réunit en loupe toutes les parties ferreuses et on les reeouvre de battitures, afin de faire prendre à la masse une consistance eonvenable pour la sortir du feu.

L'étirage ne présento rien de nouveau. Les marteaux pèsent de 320 à 360 kil. et battent 120 coups par minute. Le fer forgé donné par une loupe pèse 65 kil., et 100 kil. de fer forgé sont produits par 135 kil. de fonte et $0^{m3},70$ de charbon.

On ajoute une grande importanee à la conduite du vent. Voici les variations qu'on lui fait subir dans les différentes phases de l'opération (1).

(1) Thirria, *Ann. des mines*, 3ᵉ sér., t. XVIII, p. 243.

	INDICATION DE L'ÉPOQUE.	Volume d'air lancé, le volume maximum étant 100.	Durée de l'action du volume d'air lancé.	
Fusion de la fonte et chauffage du fer	en commençant l'opération	40	Minutes. 10	85
	pour le chauffage et la mise en maquette des deux massiaux	45	25	
	pendant le forgeage de la tête de maquette du premier massiau	50	15	
	pendant le forgeage de la tête de maquette du second massiau	60	15	
	pour le chauffage des bouts de barre à forger	75	20	
Soulèvement	pendant le désornage	75	5	30
	pendant le soulèvement	100	25	
Avalage	pendant l'avalage	75	10	20
	pendant la formation de la loupe	60	7	
	quand on met les battitures sur la loupe.	40	3	
		moyenne 65	TOTAL 135' = 2 h. 15 m.	

Le volume d'air *maximum* est de $4^{m3},75$.

Le fer comtois jouit d'une haute réputation ; il est très-bon pour tréfilerie.

Méthode champenoise.

Cette méthode n'est autre chose que la précédente appliquée à des fontes truitées, à grains fins et serrés ou à structure un peu rayonnée. Par conséquent, il y a quelques modifications dans le montage du feu. Les dimensions essentielles sont : longueur : = de $0^m,63$ à $0^m,70$; largeur : = de $0^m,46$ à $0^m,54$; profondeur : = de $0^m,17$ à $0^m,18$; inclinaison de la tuyère : = de $3°$ à $4°$. L'affinage champenois comprend, comme l'affinage comtois, trois périodes : la fusion, le soulèvement et l'avalage. Les circonstances qui les différencient sont les suivantes. Dans le montage du feu on remarque que le contrevent, comme la varme, penche toujours en dedans, probablement dans un but

de concentration de la chaleur, fondé sur ce que le volume d'air est moindre que dans les feux comtois. Vu la nature de la fonte, on ne doit pas trop la décarburer pendant la fusion, afin qu'en conservant sa consistance pâteuse, elle puisse s'épurer complétement. Dans ce but, on use avec sobriété de scories riches ; au lieu de 8 ou 10 kil. nécessaires dans l'affinage comtois, on n'en emploie que 3 ou 4 kil. De plus, à plusieurs reprises pendant la fusion, le forgeron fait tomber dans le creuset, par un coup de ringard, l'extrémité amincie de la gueuse qu'il appelle *flutôt*, et dont l'effet est de retarder la coagulation. En une heure et demie, on obtient une loupe donnant 50 kil. de fer, dont on ne fait qu'une pièce ; elle est produite par 68 ou 70 kil. de fonte ; le déchet est donc un peu plus grand que dans la méthode précédente, mais la consommation en combustible est moindre de 2 p. %; elle est de 6^{m3},85 de charbon par 1000 kil. de fer. Le volume d'air *maximum* est de 4^{m3},18, dont on lance en moyenne les 75 p. %. La qualité du fer produit, relativement au fer comtois, est telle, qu'alors que celui-ci se vendait 53 francs, celui-là se payait 45 francs.

Méthode bourguignonne.

Cette variété de la méthode allemande ne comprend que deux périodes : la fusion ou l'avalage. Les fontes sont ordinairement blanches, compactes, à texture parfois un peu radiée.

Les dimensions principales du creuset sont : longueur : = de 0^m,66 à 0^m,74 ; largeur : = de 0^m,43 à 0^m,47 ; profondeur : = de 0^m,16 à 0^m,17 ; inclinaison de la tuyère : = 2 ½°. Contrairement à ce qui s'observe dans les feux comtois et champenois, le vent est ici moins éloigné de la face du chio que de la hairo ; il s'échappe alors un peu d'air par le trou de chio et la gueuse fond moins rapidement, circonstance qui détermine l'affinage pendant la fusion même. On incline le fond plus vers le chio que vers le contrevent. En un mot, les artifices du feu sont maniés de façon à accélérer autant que possible la décarburation. Quelques feux bourguignons sont soufflés par deux tuyères ; mais la plupart n'en ont qu'une, dans laquelle se trouvent deux buses qui lancent l'air alternativement.

On ne fait pas de soulèvement, attendu que la décarburation est déjà très-avancée après la fusion, et on s'abstient de casser le bout de la gueuse pour le faire tomber dans le foyer, comme on le faisait dans l'affinage champenois. Les opérations marchent comme précédemment. Le *maximum* de l'air lancé est de $3^{m3},95$, et la moyenne, des 80 p. %, de cette quantité.

On a l'habitude, en Bourgogne, de chauffer, pendant chaque fondage, du fer de trois opérations : 1° la tête de maquette du massiau obtenu avec la loupe de l'avant-dernière opération; 2° le massiau donné par la loupe de la dernière opération; 3° un bout de barre provenant de la loupe faite avant celle qui a donné la tête de maquette.

Le marteau pèse 400 kil et bat de 140 à 160 coups par minute. Le poids moyen du fer forgé donné par la loupe de chaque opération, laquelle dure quarante minutes, est de 23 kil. Enfin, pour obtenir 100 kil. de fer forgé, on consomme 140 kil. de fonte et $0^{m3},63$ de charbon de bois. Quand le fer de la Franche-Comté coûtait 53 francs et celui de Champagne 45, le fer de Bourgogne en valait 40.

Méthode wallonne.

On l'a vue en pratique en France, dans l'Eiffel, sur la Lahn; on l'employait aussi en Belgique, surtout aux environs de Liége, mais elle a disparu du pays.

A vrai dire, elle ne diffère de la méthode bourguignonne qu'en ce qu'on réchauffe les pièces dans des foyers à part. On y traite également une excellente fonte blanche que l'on décarbure tout de suite en la faisant fondre sous un vent faible et rasant; les loupes ne pèsent que 20 à 30 kil. Aussitôt après la fusion, on avale, et l'affinage est terminé. On est même parvenu, avec une fonte très-pure et un vent fort bien conduit, à se dispenser de l'avalage.

Dans l'Eiffel, chaque foyer d'affinerie a son feu de chaufferie; dans le duché de Nassau, une chaufferie dessert deux affineries.

D'après Karsten, le déchet varierait de 28 à 33 p. %, et la consommation en combustible serait de $1^{m3},03$ à $1^{m3},09$ par 100 kil

de fer; mais depuis l'époque où a paru le *Manuel de la métallurgie du fer*, ces chiffres ont dû subir des modifications.

Méthode par masse.

C'est le nom que quelques auteurs donnent à la méthode wallonne appliquée à un poids assez considérable de fonte. Ainsi, en Suède, on fond pour une loupe, de 100 à 150 kil. d'une excellente fonte blanche, que l'on avale immédiatement après. Sur les bords du Rhin, ce traitement se trouve appliqué à des masses de 50 kil. seulement.

D'après Karsten (1), le déchet serait de 30 p. %.

Méthode du Berry.

Cette méthode est aussi nommée *demi-wallonne;* elle est usitée en Suède, et en France dans le Maine et la Bretagne.

On ne l'applique qu'à des fontes truitées très-pures ou à des mélanges de fontes. On fait un soulèvement avant d'avaler la loupe qui est assez grosse pour qu'on en puisse faire quatre ou cinq lopins. Ceux-ci sont étirés dans des feux de chaufferie à part. Cette dernière circonstance et la nature de la fonte différencient la méthode du Berry et la méthode de Franche-Comté.

Méthode de Styrie.

Cette méthode, que l'on nomme encore *styrio-wallonne*, ne s'applique qu'à une excellente fonte, très-pure et passant très-vite à l'état de fer ductile, ou bien à des blettes grillées, à des *floss* caverneux, à des fontes enfin ayant subi une des préparations que nous avons décrites. L'affinage s'effectue complétement pendant la fusion : on ne fait ni soulèvement ni avalage.

D'après M. Karsten (2), le creuset garni de fraisil présente un creux de $0^m,31$ à $0^m,37$ de diamètre et de $0^m,21$ à $0^m,23$ de

(1) *Manuel de la métallurgie du fer*, t. II, p. 369.
(2) *Ibid.*, p. 377.

profondeur. La tuyère a une pente des plus fortes : elle plonge de 25 à 30 degrés. Toutefois, cette règle n'est pas générale ; il existe des ouvriers qui ne donnent que 5 degrés de plongement à la tuyère.

La fonte en blettes ou en plaques est retenue, dans des tenailles, à $0^m,13$ au-dessus et à $0^m,10$ en avant de la tuyère, à l'effet d'avoir une fusion lente et une décarburation notable. S'il se détachait quelque morceau de fonte, l'ouvrier aurait soin de le ramener sous le vent. Pendant la fusion, on réchauffe dans le même feu le fer qui provient du travail précédent, et on jette une assez grande quantité de battitures sur les lopins Ces battitures achèvent l'affinage ; de telle sorte que lorsque la fusion de la fonte est complète, l'affinage est terminé. Quand la loupe est un peu molle, on l'arrose d'eau pour la porter sous le marteau ; dans ce cas, la décarburation n'a pas été suffisante. Les loupes sont de 75 à 100 kil.

Suivant M. Schindler, le déchet est inférieur à 10 p. °/₀ ; mais la consommation en combustible est très-considérable, par la raison que l'on doit exécuter la fusion avec une extrême lenteur. Le chiffre s'élève à $2^{m^3},00$ de charbon de bois pour 100 kil. de fonte.

Méthode nivernaise.

L'analogie de ce procédé avec le précédent permet de supposer qu'il a été importé de Styrie en France, où on le rencontre dans la Nièvre. On y traite également des fontes préparées et nous avons fait connaître ce traitement préalable. La fonte mazée est affinée dans le feu qui a servi au mazéage, ou dans un foyer d'affinerie dont le montage est le même qu'en Styrie, si ce n'est pourtant qu'ici le vent est encore un peu plus plongeant.

On fond en une opération 35 kil. de fonte mazée, que l'on affine immédiatement. Tout le travail consiste à ajouter des scories riches et à les faire écouler quand elles se sont appauvries. Quand elles sont trop épaisses, on les rend plus fluides en jetant du quartz ou du sable dans le feu.

La loupe fournit deux lopins que l'on réchauffe dans le même foyer pendant l'opération subséquente. La tête du marteau n'est que

de 130 à 150 kil. ; 110 de fonte mazée rendent 100 de fer, en consommant 194 de charbon.

Le fer provenant des petites forges nivernaises, n'est pas des meilleurs : il est en général dur, aciéreux, et n'a jamais l'homogénéité et la parfaite malléabilité du fer obtenu par la méthode comtoise.

Souvent on affine de la ferraille dans ces foyers et alors la fonte mazée n'entre que pour la moitié ou le quart de la charge.

Méthode de Siegen.

La méthode de Siegen a aussi beaucoup d'analogie avec la méthode styrienne. Ici aussi, la qualité de la fonte dispense de soulèvement et d'avalage. Cette fonte est souvent truitée, très-disposée au changement de nature et provient des minerais très-fusibles et fortement manganésifères qui donnent les excellentes fontes miroitantes du Rhin. Le montage du feu est semblable à celui des feux styriens : souvent on supprime la plaque de contrevent comme inutile en présence de l'abondance du fraisil dont on garnit le foyer de toute part ; le vent est tellement plongeant que sa direction vient aboutir au milieu de la plaque du fond.

On emploie, comme en Styrie, beaucoup de scories riches auxquelles est due la célérité de l'affinage. Le travail est conduit de la même manière. Les différences que l'on constate sont celles-ci : dans le pays de Siegen, la fonte est en gueuse et non en blettes grillées ; les loupes y sont extrêmement grosses, leur poids peut varier entre 175 et 200 kil. ; pendant la fusion, on fait fréquemment écouler les scories, afin que celles qui restent soient toujours riches.

Une opération dure trois heures ; le marteau pèse 350 kil. et l'étirage se fait pendant la fusion subséquente, tout à fait comme dans la méthode styrienne. D'après M. Eversmann, le déchet serait de 16 p. %. D'après M. Karsten, il s'éleverait à 25 p. %. La méthode de Siegen est celle qui présente le plus d'avantage sous le rapport de la consommation en combustible : pour 100 kil. de charbon on a 100 kil. de fer.

Méthode bergamasque.

Les méthodes que l'on trouve décrites sous cette dénomination dans les ouvrages qui s'occupent de la métallurgie du fer, présentent de notables dissemblances; la cause en est sans doute dans les altérations qu'elle a subies, en passant, sans changer de nom, dans les différents pays où on la retrouve.

Cette méthode est originaire de la Lombardie; c'est pourquoi nous exposerons d'abord les variétés que l'on rencontre dans ce pays. Le caractère général de la méthode bergamasque consiste dans un brassage de la fonte en fusion avec des scories ou des pailles de fer; on enlève ensuite la masse par morceaux que l'on affine.

Méthode bergamasque de Lecco.

Sur les bords du lac de Côme, à Leccu, il est un groupe d'usines à fer dont les produits sont en grande partie vendus pour être travaillés de nouveau et convertis en petit fer et en clous; les tréfileries de la localité les emploient comme matière première.

La fonte que l'on y affine est de bonne qualité, blanche et lamolleuse. Le foyer est toujours à demi rempli de brasque dans laquelle l'ouvrier creuse le vide qui doit être occupé par le métal et les scories. Les ouvriers n'attachent pas d'importance aux dimensions du creuset; le montage du feu se résume, pour eux, dans l'inclinaison de la tuyère qui, placée au milieu de la varme, reçoit une inclinaison de 20°; sa saillie dans le foyer est de $0^m,04$. Comme on ne fait pas écouler les scories, il n'y a pas de trou de chio à la plaque du laiterol.

Pour recommencer un fondage, on nettoie le foyer; on y tasse du poussier de charbon mouillé, jusqu'à la tuyère; on achève de le remplir avec du gros charbon, puis on donne le vent.

On charge 250 kil. de fonte en morceaux que l'on place le plus près possible de la tuyère. On cherche à affiner pendant la fusion, on donne donc un vent faible pendant cette période et l'on obtient un produit plus rapproché du fer que le fin métal. Pendant les deux heures et demie que dure la fusion, on ne porte pas de scories dans le creuset. Lorsque cette phase du travail est accomplie, on jette de

l'eau sur le feu et on retire rapidement le charbon. On refroidit par le même moyen la scorie qui recouvre le bain métallique; elle se coagule et peut être dès lors enlevée en grande partie à la pelle. La fonte liquide se trouve donc à nu, on jette dessus, en trois ou quatre fois, environ 50 kil. de pailles de fer, qui ne sont autre chose que des battitures et des déchets de martinets, de clouteries, de forges de maréchal, etc.; on les brasse avec la fonte, à l'aide d'une barre de bois. Ces pailles solides déterminent probablement chacune et isolément, le phénomène de l'attachement. On voit la fonte, de liquide qu'elle était, devenir en un instant pâteuse et se réunir en grumeaux; on peut alors l'extraire en masse; on la jette sur l'aire du foyer et on la refroidit en l'arrosant d'eau. Cette première partie de l'affinage est un mazéage poussé un peu loin, vient ensuite l'affinage proprement dit.

On remet le foyer en état et on charge sur le charbon la sixième partie du mélange de fonte demi-affinée et des scories qui y adhéraient. Les autres scories ne reparaissent plus dans l'affinage : elles vont au haut fourneau. On recouvre la charge de charbons frais, et ceux-ci de poussier; on donne un vent faible, et en introduisant un crochet de fer dans la tuyère, on parvient à le rabattre et à le diriger directement sur la fonte. Sous l'influence de la chaleur, les scories deviennent pâteuses et la fonte elle-même peut se ramollir; ces matières qui, à leur entrée dans le foyer, étaient plus ou moins incohérentes, s'agglutinent et finissent par former un gâteau que les ouvriers nomment *cotizzo*. Au bout de trois quarts d'heure, on enlève cette masse tout d'une pièce et on la dépose sur l'aire.

On remet le feu en état et on traite successivement ainsi chaque sixième du produit du mazéage.

La troisième partie du travail a pour but d'en terminer avec l'affinage des six cotizzi qui sont déjà dans un état de décarburation avancée. A cet effet, on prépare de nouveau le foyer, on charge sur la brasque du gros charbon noir avec un peu de charbon rouge, puis on place le cotizzo du côté de la tuyère. Le vent, d'abord faible, acquiert, au bout d'un quart d'heure, toute son intensité. Dans cette période, on ajoute des scories riches du côté de la tuyère; leur

action et celle de l'air terminent la décarburation. Le fer se détache par grumeaux, prend nature en allant se loger avec la scorie dans la brasque : c'est ainsi que se forme la loupe. Cette troisième période, qui n'est qu'un avalage, dure une heure.

La loupe est saisie à l'aide de pinces, on la fait basculer au moyen d'une chaîne suspendue au plafond, pour la placer sur le bord de l'aire ; on en détache les scories qui y adhèrent, puis on la livre au marteau, qui ne pèse que 150 kil. et qui la façonne en parallélipipède rectangulaire. Pendant ce cinglage, un ouvrier jette continuellement sur la loupe des pailles de fer et du sable.

On réchauffe la masse dégrossie dans le même foyer, que l'on a préparé à cet effet ; puis on la divise en trois parties, de chacune desquelles on fait une barre d'un poids de 12 à 13 kil. Le forgeage dure une heure. Lorsqu'il est terminé on recommence, pour un second cotizzo, le travail que nous avons rapporté.

En récapitulant le temps qu'exigent les séries d'opérations, on trouve que l'affinage et le forgeage de 250 kil. de fonte demandent dix-huit heures

La consommation en charbon, qui est d'essence de châtaignier, de sapin et de hêtre, est de 640 kil. pour une opération complète, donnant 240 kil. de fer ; ce qui revient à 266 kil. de charbon pour 100 de fer fini.

D'après les chiffres que nous venons de donner, il paraîtrait que le déchet n'est que de 4 $^{1}/_{2}$ p. $^{0}/_{0}$; mais il ne faut pas oublier qu'on a ajouté 50 kil. de pailles de fer : on estime que la perte réelle est d'environ 20 p. $^{0}/_{0}$.

Les fontes employées étant très-pures, les fers produits ne sont pas affectés des défauts dûs aux matières étrangères, c'est-à-dire qu'ils ne sont ni rouverins, ni cassants à froid, mais on les reconnaît toujours un peu aciéreux. Le plus grand vice de ces usines se rencontre dans la partie mécanique : le marteau est beaucoup trop léger ; il est impossible qu'une masse de 150 kil., avec une volée ordinaire, jouisse d'une force vive suffisante pour exprimer complétement les scories ; or cet état de choses doit avoir pour résultat de rendre pailleux un fer qui, sans cela, serait fort bon et donne-

rait beaucoup moins de déchet aux tréfileries. Ajoutons que la pratiquo qui consiste à saupoudrer continuellement de sablo et de pailles de fer, les lopins pendant le cinglage, n'est certainement propre qu'à rompre encore l'homogénéité du fer.

Méthode bergamasque de Brembana.

Dans le val do Brembana, en Lombardie, on pratique un procédé qui, en essence, est à peu près le même que celui do Lecco, mais qui en diffère surtout par uno combinaison mieux entendue des diverses opérations.

On opère ici sur 500 kil. de fonte semblable à celle de Lecco : le foyer acquiert évidemment de plus grandes dimensions; à part cela, rien n'est changé au mazéage, si ce n'est qu'il dure quatre heures et qu'on n'ajoute plus que 20 kil. de pailles de fer pour les 500 kil. de fonto.

Il n'y a pas non plus de changement dans la seconde phase pendant laquelle on forme les cottizzi : ceux-ci sont au nombre de huit.

Quant à la troisième période, qui constitue l'affinage, elle n'a plus lieu dans le même foyer, comme précédemment : mais elle marche simultanément avec la formation des cotizzi, dans un feu qui se trouve dans lo même massif que le premier : c'est là une modification dans l'organisation qui efface une vice réel des habitudes de Lecco. Mais il est aussi une modification technique : pendant la fusion, on ajoute beaucoup plus de scories et de battitures que dans la méthode précédente et l'on forme la loupe par attachement. Ce fait seul donne la raison de la supériorité du fer produit. Pendant l'attachement, il arrive quelquefois que les scories sont en trop grande abondance que pour ne pas nécessiter une percée; le laiterol a été monté en conséquence.

L'usage de deux foyers accélère beaucoup l'opération, car l'affinage complet de 500 kil. de fonte n'exige plus que vingt-quatre heures.

Le marteau pèse, ici, 300 kil.; cette circonstance n'est pas sans influence, comme on le pense bien, sur la qualité du produit. Ce fer

alimente la fabrication des canons de fusil de Brescia. Le déchet sur la fonte est d'environ 20 p. %. La consommation en combustible est de 190 kil. pour 100 kil. de fer produit, ce qui indique une économie notable relativement à la méthode précédente.

Méthode bergamasque de Sovere.

A Sovere, on cherche à produire des fers plus doux que ceux que fournissent les procédés que nous venons de décrire. Dans ce but, on y emploie beaucoup de scories riches qui décarburent le fer. La modification dans l'organisation du travail, que nous avons signalée dans le val Brembana, est adoptée à Sovere ; sauf cette circonstance la marche est la même qu'à Lecco.

On traite en une opération de 330 à 340 kil. de fonte ; l'affinage se termine par l'avalage ; c'est dans cette période que l'on charge en scories douces. On fait toujours la coulée au moment d'extraire la loupe du foyer.

Le fer est très-doux, se soude très-aisément ; il sert principalement à la fabrication des ferrures de roues.

Le déchet sur la fonte est de 15 p. %, et la dépense en combustible, de 280 p. % de fer fini.

Méthode bergamasque en Toscane.

Les fontes d'affinage de Toscane sont des fontes truitées obtenues au moyen des minerais de fer oligiste de l'île d'Elbe. La méthode que l'on y pratique diffère en plusieurs points essentiels de celles que nous avons rapportées. Ces modifications paraissent avoir principalement pour but de réduire la consommation en combustible ; sous ce rapport, l'opération paraît beaucoup mieux ordonnée qu'en Lombardie.

La tuyère est fort inclinée et la profondeur du foyer est moindre, parce que la fonte est difficile à affiner ; l'air agissant plus directement sur le métal, amène une augmentation de déchet qui, par suite, s'élève à 25 p. %. La quantité de fonte traitée en une fois, varie entre 275 et 350 kil. Lorsque cette masse est fondue, l'ouvrier

retire par attachement le métal demi-affiné, en enfonçant un ringard dans le bain. Chaque portion successivement retirée constitue un cotizzo : on extrait ainsi du foyer la moitié environ de la fonte. Cela fait, on remplit le creuset de charbon et l'on refond, vis-à-vis de la tuyère, un de ces cotizzi ; il s'affine sous le vent et va se réunir au fond du creuset : on l'enlève et avec lui une portion de la fonte qu'on y avait laissée.

On répète cette opération avec un second cotizzo, destiné, comme le premier, à former le principe d'un masset ; mais cette fois, on lui superpose, pendant la refonte, le premier gâteau que l'on vient de retirer et dont une partie gagne le fond où il forme, avec le second gâteau, un masset. Celui-ci, après quelque temps, est suffisamment affiné pour concourir à la formation des loupes.

On fait ainsi quatorze ou quinze massets de 17 à 20 kil. chacun ; la durée totale de l'opération est de sept à huit heures.

Le complément de l'affinage ne succède pas toujours immédiatement. Voici comment on l'opère : on place un masset sur le charbon près du contrevent, de telle sorte qu'étant entouré de vent, sa décarburation s'achève. Par la fusion, ce premier masset se rend au fond du creuset ; il est remplacé, dans sa première position, par un second, qui, préalablement, a été chauffé près du creuset et a déjà atteint le rouge ; ce second masset fond à son tour et va rejoindre le premier, avec lequel il forme une loupe. Cette loupe est forgée, et l'on continue à traiter de la même manière les autres massets. D'après M. Garella (1), les forges de Toscane donnent de bon fer, très-doux et d'un grain bien uniforme ; cependant nous remarquons que les marteaux ne pèsent que 140 kil.

Méthode de Carinthie.

La fonte est sous forme de saumons, de plaques ou même de grenailles. Les dimensions du foyer sont assez arbitraires ; le plongement du vent est de 10 degrés.

Le creuset étant rempli de combustible, on charge la fonte qui,

(1) Garella, *Annales des mines*, 3e sér., t. XVI.

dans quelques usines, a été préalablement mazée, en la rapprochant de la tuyère jusqu'à $0^m,13$; on la recouvre de charbon et on fait agir les soufflets ; pendant la fusion, on étire le fer précédemment obtenu. S'il s'accumule des scories pauvres, on les fait écouler. La liquéfaction étant obtenue, on sort du creuset le charbon et les scories pauvres, on ajoute au bain des battitures et on brasse le tout : la décarburation aidant, la masse devient solide, et se prend en morceaux qui sont retirés du foyer, ainsi que le fraisil et les scories. L'ouvrier divise le tout en deux parties qu'il traite séparément, en commençant par les plus gros morceaux. A cet effet, il prépare de nouveau le foyer, charge le métal demi-affiné et conduit la fusion de façon à ce que l'épuration soit suffisante dès cette seconde fusion. On obtient alors la loupe que l'on forge.

Dans d'autres localités, on prend tout le fer par attachement ; dans ce dernier cas, le déchet, dit M. Karsten, peut s'élever à 33 p. °/₀, mais le fer gagne considérablement en qualité.

Méthode de Bohême et de Moravie.

Cette méthode, citée par Karsten, diffère de la précédente en ce qu'au lieu de brasser la fonte liquide avec les scories riches, on la décarbure assez pendant sa première fusion, pour qu'elle puisse devenir solide d'elle-même et se partager, étant soulevée, en plusieurs morceaux, et cela en laissant au fond du creuset du laitier doux dans lequel la fonte vient se rendre.

Dès qu'on a les fragments, on les fait refondre un à un et on prend le fer par attachement.

Méthode des *loeschfeuer*.

L'emploi des feux de brasques, dits *loeschfeuer*, pour la fabrication du fer, était déjà usité au ve siècle, et l'histoire de la métallurgie nous apprend qu'au moyen âge, ils étaient répandus dans toute l'Allemagne et dans une partie de la France. A l'époque où M. Karsten publia son *Manuel de la métallurgie du fer*, on ne pratiquait plus ce genre d'affinage que dans le cercle du Henneberg ou dans les mon-

tagnes de la Thuringe. Aujourd'hui elle ne subsiste plus que dans quelques usines qu'on trouve groupées autour de la petite ville de Sühl.

Ce qui caractérise le travail dans les *loeschfeuer*, c'est qu'on ne soulève pas la loupe et qu'on ne fait pas écouler les scories. Celles-ci, lorsqu'elles sont figées, sont traitées dans les *stuckofen* ou les *flussofen*.

Le creuset, formé dans une brasque retenue par des pièces de bois, a la forme d'une ellipse, dont le petit axe fait suite à la direction de la tuyère. Les longueurs des axes sont de $0^m,95$ et $0^m,80$; la profondeur du feu varie entre $0^m,23$ et $0^m,26$; la tuyère est horizontale et avance de $0^m,15$ dans le foyer.

La fonte que l'on affine est blanche, très-bonne, attendu que les minerais du Thuringerwald sont éminemment manganésifères et que le manganèse est un véritable désulfurant, ainsi qu'il a été établi au finage de la méthode anglaise.

On jette dans le creuset beaucoup de scories et de battitures, on charge en charbon et on donne le vent. La fonte, en plaques minces, est livrée à l'action de la chaleur à quelque distance de la tuyère; on la maintient à hauteur convenable au moyen de tenailles, simultanément avec un certain poids de fer. Le fer dont on fait usage vient souvent des *stuckofen*, fourneaux dont nous parlerons en traitant de l'affinage immédiat des minerais; cependant on le remplace quelquefois par de la ferraille, que l'on maintient aussi par des pinces.

Si l'on manquait de ferraille et de fer de *stuckofen*, on préparerait du fer demi-affiné en fondant 20 à 25 kil. de plaques avec une forte addition de scories riches. Dans cette opération, on soumet la plaque à l'action directe de l'air.

Dans tous les cas, on met d'abord en fusion, ou cette masse demi-affinée ou le fer dont il était question tout à l'heure, et dont le poids varie de 12 à 18 kil.; ensuite on charge devant la tuyère, et successivement, plusieurs trousses de plaques, dont l'ensemble pèse de 75 à 100 kil. : c'est là ce qu'on emploie pour former une loupe. Le départ des matières étrangères est déterminé par les scories

riches, et est favorisé encore par cette influence qu'exerce la présence du fer déjà revivifié.

La liquéfaction de la fonte étant terminée, l'affineur, d'après la flamme et d'après la consistance du bain, peut juger de la marche de l'opération ; selon le besoin, il divise, il agite la masse pour offrir de toutes parts le carbone à l'oxydation. Après un travail suffisant, on ralentit le vent, on écarte le feu en partie ; le vent fait bouillonner la scorie et il s'élève du bain un tourbillon d'étincelles brillantes.

La loupe est retirée du feu ; elle pèse environ 100 kil. ; elle est livrée au forgeron, qui la cingle et la coupe en deux parties que l'on travaille et divise en barres, en les réchauffant dans le même foyer, avant de recommencer un second fondage. Le forgeage est très-lent : il dure trois heures.

Le déchet est de 33 p. %, : mais il faut considérer aussi que cette opération fournit beaucoup de scories riches que l'on repasse au fourneau à cuve.

Malgré le produit qu'elle donne, cette méthode est très-dispendieuse, et bien que le fer soit assez bon pour qu'on en puisse faire des tôles, on ne peut que blâmer l'inertie des industriels qui ne consentent pas à y faire des modifications.

Méthode osemunde-marchoise.

Le fer que produit la méthode osemunde jouit d'une réputation toute particulière : il est doux et tenace. On l'emploie avantageusement pour le travail en tréfilerie.

Par ce procédé, on affine une bonne fonte blanche sous forme de gueuse. La profondeur du feu est de $0^m,18$; la tuyère avance de $0^m,05$ dans le feu et son plongement est très-considérable ; le vent est lancé sous une forte pression.

L'affineur à l'osemunde emploie beaucoup de scories riches, et il ne commence son travail qu'alors que son creuset est rempli. La fonte en fusion s'affine vite au sein de ce décarburant, et elle y forme de petits morceaux de fer. L'ouvrier, à l'aide d'un petit ringard, les soulève jusque dans le vent de la tuyère, afin de parfaire l'affinage,

et en tournant sa barre dans le feu, il parvient à les y souder. L'union successive de ces petites masses est évidemment favorable à l'épuration. Aussitôt que l'ouvrier a réuni, par cette sorte d'attachement, environ 10 kil. de fer, ce qui ne demande qu'un quart-d'heure, il porte ce lopin au forgeage.

Le déchet, d'après M. Eversmann, est de 25 p. %. Le produit ne dépasse peut-être pas en qualité le fer de la méthode wallonne, mais on réalise une économie de combustible, car ici on ne fait pas de réchauffage.

Méthode osemunde-suédoise.

Cette méthode est mentionnée dans l'*Histoire du fer* de Rinmann. On y traite de la fonte en saumons ou bien des grenailles de fonte que l'on retire du laitier des hauts fourneaux, par bocardage. Lorsque la matière est fondue, on la travaille dans le laitier, ce qui l'affine complétement. On retire la loupe et on en fait, dans des chaufferies, de la poterie en fer battu.

Le déchet est de 37 p. %.

DES MODIFICATIONS APPORTÉES A LA MÉTHODE ALLEMANDE.

On a pu voir combien peu diffèrent entre eux plusieurs des procédés qui viennent d'être exposés. Il est certain que si l'on visitait toutes les usines, les variétés d'affinage deviendraient innombrables. Après avoir indiqué celles dont les dénominations sont le plus répandues, nous nous bornerons à enregistrer quelques progrès et quelques traitements spéciaux qui méritent une mention.

Feux couverts.

Leur première application semble remonter à trente-cinq ou quarante ans; ils se répandirent lentement, mais aujourd'hui tous les feux bourguignons et plusieurs autres de la Franche-Comté ont adopté ce perfectionnement. Il consiste à envelopper le feu d'une voûte, que l'on forme au moyen du mur de hotte et de trois grandes plaques de fonte, ayant $1^m,10$ de longueur sur $1^m,00$ de hauteur,

et placées respectivement du côté de la face du chio, du contrevent et de la haire. La plaque du chio est percée d'une ouverture de travail, cintrée et ayant 0m,50 de largeur sur 0m,30 de hauteur; la plaque du contrevent présente une ouverture de 0m,30 sur 0m,20, par laquelle on chauffe, au-dessus du feu, les bouts de barre jusqu'à ce qu'on les place au milieu des charbons; enfin la plaque de derrière a une ouverture de 0m,32 de largeur sur 0m,27 de hauteur. pour le passage de la gueuse. De l'intérieur de ces plaques, part une voûte en briques réfractaires; elle est sphérique ou cylindrique: dans ce dernier cas, elle va du contrevent à la varme; la distance de son intrados au fond du foyer varie de 1m,20 à 1m,60 Une cheminée de 0m,50 de hauteur surmonte cette voûte. La dépense totale occasionnée par cette construction s'élève à 500 francs environ.

Cette voûte diminue la déperdition de la chaleur et amène une économie de combustible qui, à l'usine de Lœuilley, a été portée à 27 p. %, mais qui, en moyenne, est de 20 p. %. Les inconvénients sont ceux-ci : la chaleur incommode davantage l'ouvrier; en second lieu, il s'attache à la voûte des matières, nommées *sarrasins*, qui, parfois, tombent dans le creuset; or, ces matières contiennent de la silice, du menu charbon, des cendres, et si c'est à la fin d'une opération que la chute a lieu, il peut en résulter des pailles dans le fer ou d'autres détériorations. Il n'y a d'autre précaution à prendre à cet égard, que de nettoyer la voûte de temps en temps.

Feux à deux tuyères.

A Rohnitz, en Basse-Hongrie, on trouve un avantage de temps et de charbon, en affinant la fonte dans des feux à deux tuyères placées dans les parois opposées du creuset. La fonte prend position au point où les vents se coupent. Lorsqu'elle est fondue, on fait écouler les scories, on introduit des battitures, on avale et on retire par attachement des portions que l'on cingle. On ajoute aussi quelquefois des rognures de tôle.

Outre une économie en charbon, les chiffres suivants indiquent une économie de 3 p. % sur la fonte. Dans un feu à une tuyère,

350 de fonte produisent 297 de fer ; à temps égal, dans un feu à deux tuyères, 600 de fonte produisent 523 de fer.

Feux à trois tuyères.

M. Flachat (1) mentionne un procédé que l'on emploie depuis quelque temps en France et qui consiste à faire travailler deux affineurs dans le même creuset ; le soufflage a lieu par trois tuyères placées d'un même côté, et les gueuses, au nombre de deux, arrivent au contrevent, parallèlement aux faces de la rustine et du chio où se placent les deux ouvriers. Des données plus complètes nous manquent.

Feux couverts avec chaufferie à réverbère.

Comme on l'a fait pour les flammes du gueulard des hauts fourneaux, on a cherché aussi à utiliser la chaleur perdue et les principes combustibles qu'entraîne la flamme des foyers d'affinerie. A cet effet, on a construit à la suite, un rampant qui conduit les gaz dans un four à réverbère, sur la sole duquel on dépose le fer que l'on veut réchauffer et la fonte qu'on se propose de traiter ; cette dernière matière est placée dans la partie la plus proche du creuset. On laisse arriver dans la flamme un peu d'air frais pour aviver la combustion. On peut obtenir, dans un four alimenté par les gaz de deux foyers d'affinerie, une température de 1200 à 1300 degrés centigrades ; mais on n'est jamais parvenu au blanc soudant.

L'application simultanée des voûtes et de la chaufferie à réverbère a procuré une économie moyenne de 30 p. °/₀ sur le combustible.

Emploi de l'air chauffé.

La substitution de l'air chauffé à l'air froid, dans les foyers d'affinerie, n'a pas produit partout les mêmes résultats. Il paraît certain néanmoins qu'elle procure une économie de combustible et, dans quelques circonstances, une diminution de déchet sur la fonte. On peut attribuer tout résultat contraire à une mauvaise conduite de

(1) *Traité de la fabrication du fer*, p. 490.

l'opération ; en effet, un des éléments importants de l'affinage étant altéré, il faut nécessairement faire subir quelques modifications au montage du feu. Nous citerons celles qui ont été adoptées à Audincourt (Doubs), après de nombreux essais, pour des feux comtois affinant des fontes grises. On a réduit à 0^m,17 leur profondeur, qui était de 0^m,20 pour le roulement à l'air froid ; on a donné 5° à 5° $^1/_2$ d'inclinaison aux tuyères, au lieu de 8° à 8° $^1/_2$; enfin le diamètre de l'œil des buses, qui avait 0^m,025, a été porté à 0^m,027. Des changements analogues ont été apportés à beaucoup de feux français. Les tuyères sont en fonte et à courant d'eau.

Le système de chauffage est presque partout le même : l'appareil se compose de tuyaux plusieurs fois recourbés, que l'on place sur le passage de la flamme du foyer et dans lesquels l'air circule avant d'arriver au siége de la réaction. Un registre, qui règle l'arrivée de la flamme, permet de donner à l'air telle température qui lui convient.

MM. Buff et Pfart (1) ont recherché si l'emploi de l'air chaud ne mettait pas en jeu de nouvelles affinités chimiques. Ils sont arrivés à ce résultat, que l'air froid, en passant sur des charbons rouges, ne peut pas servir immédiatement à la combustion ; il est indispensable qu'il soit d'abord élevé à une certaine température. L'air froid, avant de servir à la combustion, fait donc un certain chemin et par là augmente la quantité d'oxygène non utilisée qui s'échappe de tous les foyers sans exception : c'est ce qui n'a pas lieu pour la combustion à l'air chaud qui, en arrivant, est à une température convenable pour oxyder le charbon plus complétement et, par suite, pour augmenter la chaleur, indépendamment de sa chaleur sensible.

Pour apprécier la valeur de ce traitement, on ne peut mieux faire que de présenter quelques chiffres relatifs à divers cas.

A l'usine de Laufen, dans le Wurtemberg (2), l'appareil a été construit de façon à pouvoir fournir à volonté le vent chaud et le vent froid. On y affine des fontes blanches provenant du haut fourneau de Plons, près Sargans, en Suisse, et fabriquées soit à l'air froid,

(1) *Annalen der pharmacie*, t. XIII, p. 129.

(2) Combes, *Ann. des mines*, 1834.

soit à l'air chaud. Les résultats varient selon quo l'on emploie l'une ou l'autre espèce de fonte. En travaillant à l'air froid sur des fontes produites également à l'air froid, la moindre consommation de charbon pour affiner 100 kil. do fonte était de 40 pieds cubes, soit $0^{m3},940$; en opérant à l'air chaud sur les mêmes fontes, mais sans réchauffer la fonte ni les barres à la flamme perduo, la consommation s'est trouvée réduite à 30 pieds cubes, soit $0^{m3},714$, ou tout au plus aux trois quarts de ce qu'elle était précédemment. De plus, le produit d'une semaine, qui n'était que de 3000 kil. à l'air froid, s'est élevé à 3600 kil. au moins et a souvent atteint le chiffre de 3900 kil. en employant l'air chauffé à une température de 200° centigrades. Le déchet est demeuré à peu près le même : il n'a pas présenté de diminution notable. En chauffant préalablement la fonte, en réchauffant les barres dans lo four à réverbère, alimenté par les flammes perdues, la consommation de charbon a été réduite à 21 pieds cubes pour 100 kil. de fer, c'est-à-dire à peu près à la moitié de ce qu'elle était dans les anciens feux.

En travaillant à l'air chaud, sur des fontes aussi obtenues à l'air chaud, mais sans réchauffer la fonte ni le fer à la chaleur du foyer, on a consommé jusqu'à 36 pieds cubes ou $0^{m3},842$ de charbon ; de sorte que l'économie n'était plus que de 11 p. % environ. On attribue ce résultat moins avantageux à la qualité de la fonto, qui est plus compacte et plus difficile à affiner que celle qui a été fabriquée à l'air froid. Toutefois, ce désavantage a été atténué, en faisant usago des flammes perdues.

A Kœnigsbronn (1), on emploie aussi l'air chaud dans lo feu d'affinerie où l'on traite de la fonte obtenue au vent chauffé. On n'a pas remarqué quo cette dernièro fût plus difficile à traiter que celle à l'air froid. L'air chaud a donné une économie de 16 p. % de combustible, et le déchet sur la fonte a un peu diminué.

Dans les usines du duché de Bade (2), l'air, à une température de 100 à 120° centig., a donné une économie moyenne de 30 p. %

(1) Guenyveau, *Annales des mines*, 3e sér., t. VII.

(2) Walter de Saint-Ange, *Métallurgie du fer*, IIe partie, p. 192.

en combustible. Dans quelques forges du Bas-Rhin, on n'a pas constaté d'économie notable de charbon, mais on a obtenu 3 à 4 p. % de plus en fer.

Enfin, voici quelques résultats oxtraits des *Archives métallurgiques* de Karsten (1) et qui montreront les effets de l'air chaud dans diverses circonstances. Dans ces exemples, on n'a pas fait usage des flammes perdues pour l'étirage :

DÉSIGNATION DES USINES.	FER POUR 100 DE FONTE		CHARBON POUR 100 DE FONTE	
	à l'air froid.	à l'air chaud.	à l'air froid.	à l'air chaud.
Kœnigshütte (Silésie)	77,50	79,49	169	157
Elend (Hartz), fonte à l'air froid . .	76,47	78,97	151	151
Elend (Hartz), fonte à l'air chaud . .	77,02	78,97	151	151
Rübelaand (Hartz), fonte à l'air froid. .	75,40	79,33	163	143
Tanas	75,85	77,97	189	185

Il est des usines, telle que celle de Kreutzburg, en Silésie, où l'on a fait varier la température de l'air insufflé selon la période de l'affinage. D'après des observations répétées, la température s'élevait à :

205° R. pendant le forgeagn et la fusion;
168° » pendant le soulevement;
172° » pendant l'avalagn;
184° » pendant l'attachement.

L'opération a été plus longue ; la fonte est restéo plus liquide dans le creuset, c'est-à-dire que l'allure a été plus crue ; la qualité du fer n'a pas été altérée. L'économie a été de 2,5 pour 100 de fonte et de 1 ^{p3},5 de charbon pour 100 livres de fer.

Contrairement à ce que nous avons dit et à ce qui est généralement adopté, on a observé à l'usine de Malapane, en Silésie, qu'on ne combattait pas l'allure crue en rendant le feu plus plat ; la fonte se liquéfiait plus rapidement, mais ne prenait pas plus rapidement

(1) Tome XIII, 1838.

nature. On y a porté remède en élargissant l'œil des buses. Un phénomène remarquable, c'est quo les plaques de fonte qui circonscrivent le creuset sont moins rapidement détruites à l'air chaud qu'à l'air froid.

Pour conclure, on peut dire que l'emploi de l'air chaud dans les foyers d'affinerie a pour résultats communs : 1° une économie de charbon et de fonte, 2° une augmentation dans la production journalièro. Quant au travail en lui-même, l'excitation de la combustion devant la tuyère détermine plus aisément la refonte de la fonte et de la loupe ; ce qui, tout en économisant le charbou, doit diminuer le déchet, par la raison que l'air étant plus désoxygéné par le combustible, n'attaquera pas aussi fortement la fonte et laissera presqu'exclusivement aux scories la tâche de la décarburation et de la purification du fer. D'une autre part, l'élévation locale de température ne peut qu'accélérer le forgeage.

Quant à l'influence de l'air chaud sur la qualité du fer, la plupart des praticiens disent qu'elle n'est pas modifiée ; quelques-uns prétendent qu'elle est améliorée ; à Rybnick, enfin, on l'a trouvée amoindrie.

Emploi de la vapeur d'eau dans le vent.

Dans le Hartz, à l'usine de Silberaalerhammer, on a essayé l'emploi de la vapeur d'eau dans le vent ; on a reconnu qu'il n'était pas bon d'en user durant le forgeage, attendu qu'il y aurait alors abaissement de température. Pendant l'affinage, comme une très-grande chaleur n'est pas nécessairo, la vapeur d'eau peut être employée. On compte qu'en se décomposant, elle s'emparera du soufre que pourrait contenir la fonte ; mais si elle ne produisait d'autre effet que d'augmenter l'intensité de la flamme, elle serait plus nuisible qu'utile, à moins qu'on ne tirât de cette flamme quelquo parti.

Les résultats qui ont été constatés sont les suivants, en comparant le traitement à l'air froid avec le travail à l'air chaud mêlé de vapeur d'eau :

1° Augmentation de 3,6 p. % dans le rendement ;

2° Économie de combustible de 2,23 p. %;
3° Enfin, amélioration dans la ténacité du fer.

Emploi du bois desséché.

On a cherché à substituer le bois desséché au charbon de bois dans les affineries. Il ne peut être employé en proportion un peu forte que quand l'air de la soufflerie est porté à 200°. Des feux comtois, à l'air froid, en ont cependant fait usage; on ne met alors le bois desséché qu'immédiatement avant le soulèvement, et la faible quantité dont on doit user, n'amène que très-peu d'économie. Le réchauffage ne peut se faire qu'au charbon seul.

Mais lorsque la soufflerie est à l'air chaud, à 220°, on peut employer moitié charbon, moitié bois desséché, et on diminuera de 15 p. % la consommation du combustible. La présence du bois desséché demande que le feu soit rendu plus profond et la tuyère plus plongeante.

M. Gauthier, maître de forges français, a essayé de substituer complétement le bois desséché au charbon et y a pleinement réussi. Il a renoncé, pour cela, au réchauffage dans l'intérieur des feux. L'inclinaison des tuyères a été augmentée de 2°; la profondeur a été portée de 0m,21 à 0m,23; la température de l'air a été élevée à 260°; le diamètre des buses a été porté de 0m,027 à 0m,029. On a obtenu dans ces conditions une économie de 44 p. %.

Emploi du bois vert.

La fusion et le réchauffage se font toujours au charbon seul. A l'usine de Semouze, le soufflage à l'air chaud et l'emploi du bois vert, dans la proportion de $^3/_{13}$ du charbon, pendant le reste de l'opération, ont fait économiser 14 p. % environ. En outre, on a obtenu une diminution de 4 p. % sur la consommation de la fonte et une augmentation de 6 p. % dans la production journalière.

L'un des feux d'affinerie comtois à deux tuyères de l'usine d'Audincourt a roulé en ne consommant que du bois vert flotté. On avait augmenté l'inclinaison des tuyères et la profondeur du creuset; l'air

insufflé était de 360° environ. En comparant au travail au charbon et à l'air froid, on a obtenu une diminution de 30 p %, sur la consommation du combustible végétal et de 4 p. % sur la fonte, tout en augmentant la production en fer de 14 p. %. Mais des inconvénients graves ont fait renoncer à cette fabrication : les fers obtenus avaient une contexture très-variable ; les uns étaient nerveux, les autres avaient du grain et souvent une même barre présentait du nerf et du grain ; il n'y avait pas dans la pâte l'homogénéité qu'on exige des fers de bonne qualité.

Emploi de la tourbe.

Une bonne tourbe peut être employée en mélange dans les feux d'affinerie. A l'usine de Semouze, une stère de tourbe a remplacé 0^{m3},394 de charbon, mais le rendement a diminué de 2 $1/2$ p. %, à cause de la quantité de cendres. La tourbe semble rendre le fer plus homogène et plus tenace. M. Voltz assure que le fer obtenu aux forges de Rothau, au moyen du charbon de tourbe, était meilleur que celui produit au charbon de bois.

Affinage de fontes sulfureuses et phosphoreuses.

Il a déjà été parlé de l'emploi de la chaux pour corriger le fer de certains vices ; des correctifs ont aussi été employés au feu d'affinerie dans le traitement des fontes qui contiennent du phosphore et du soufre, c'est-à-dire qui donnent du fer cassant à froid ou du fer cassant à chaud. Voici quels ont été les traitements spéciaux à Torgelow, en Poméranie, et à Peitz, en Neumarck, où l'on emploie le minerai des prairies.

Dans chaque opération, on fait fondre 125 kilog. de fonte. Cette fusion s'opère pendant le forgeage du lopin ; on ajoute des scories et des battitures et d'autant plus que l'allure est plus sèche. Les scories des premières percées sont rejetées comme trop pauvres.

Quand la fusion est complète et que le métal, sous l'influence du vent, a déjà pris quelque consistance, on suspend le jeu des soufflets, on soulève la fonte et on jette de l'eau pour la solidifier. La masse étant sortie, on nettoie et on débarrasse le creuset ; on met

de côté, pour les joindre à la loupe suivante, les fragments que l'on y rencontre et on charge en charbons frais. On renverse alors la loupe en disposant les faces en sens inverse des positions qu'elles occupaient précédemment. A partir de ce moment, commence l'affinage proprement dit : de temps en temps on répand dans le feu du calcaire en poudre fine; en général, pendant toute cette période, on ne fait pas de percée pour les scories ; elles demeurent dans le creuset, et on les enlève seulement quand on fait le soulèvement. On jette sur la surface de la loupe 1 $^1/_2$ kilog. environ de calcaire, on la recouvre avec du charbou et on rend le vent. Après quelque temps, on jette de nouveau 3 kilog. de calcaire sur les charbons, cetto fois. Pour opérer le soulèvement, on place la loupe sur l'aire, on remplit le creuset de charbons frais et on répand par dessus du calcaire, de façon à former un lit sur lequel on place la masse ferreuse sans la renverser ni la retourner ; on la recouvre de charbons, on jette par dessus du calcaire et on rend le vent. On soulève do mêmo une seconde fois, puis on avale en continuant le même traitement. Lo fer est pris par attachement.

La quantité totale de calcaire employé est de 11 à 12 kilog.

Cette méthode s'oppose à ce que l'on fasse écouler les scories; mais, du reste, une percée no serait pas possible, à cause de leur peu de fluidité ; elles ont peu d'adhérence dans le creuset, de sorte qu'on les enlèvo aisément. Lo déchet résultant de l'ensemble de l'opération ost très-grand. Le fer que l'on traiterait par un excès de chaux deviendrait pailleux, ce qui constitue un écueil; bien conduit, ce traitement est efficace.

A l'usine de Peitz, on a fait un essai à l'effet de déphosphurer plus complétement le fer. Le carbonate de chaux et l'oxyde de fer sont sans action sur le phosphure de fer; mais à la chaleur rouge. les carbonates alcalins attaquent ce phosphure; car, si on lave la matière fondue, on trouve beaucoup d'acide phosphorique dans la liqueur. D'après cela, on pouvait espérer qu'en substituant, en tout ou en partie, les carbonates alcalins à la pierro calcaire, on obtiendrait une déphosphuration plus complète du fer. On a donc employé de la potasse de Russie, qui contient en outre du chlorure et du sulfate de

potasse. On n'a obtenu que du fer cassant à froid et en partie cassant à chaud.

On a employé aussi du carbonate de soude et on est arrivé à des résultats tout aussi franchement détestables. D'où l'on peut conclure que les alcalis ne peuvent remplacer le carbonate de chaux dans l'affinage, parce que non-seulement ils diminuent la soudabilité du fer, mais encore parce qu'ils lui communiquent une dureté que ne donne pas la chaux, même en excès.

Le meilleur traitement des fontes phosphoreuses est donc celui où l'on emploie la chaux, il en est de même pour les fontes sulfureuses. Cette conclusion est celle que nous avions déjà tirée relativement à l'usage de la chaux dans la méthode anglaise.

Affinage à plusieurs réactifs.

Quelques-uns des ingrédients dont on s'est servi pour le puddlage ont aussi été employés au foyer d'affinerie ; il est même des contrées où on semble en avoir poussé le goût jusqu'à la fantaisie. Dans une forge de l'est de la France, on faisait un premier mélange de castine et de potasse réduites en poudre ; on jetait, pendant le travail de la loupe, quelques petites poignées de ce mélange sur le charbon, qu'on avait eu soin d'humecter auparavant. Au moment de l'avalage, on jetait sur la loupe quelques pincées d'un second mélange formé de castine, de potasse, de muriate de soude et d'alun! Quelqu'étrange que paraisse cet *olla podrida*, elle est rapportée dans le tome XVII du *Journal des mines*, p. 321. Nous n'essayerons pas de découvrir l'action chimique de cette poudre, ni le rôle que vient jouer ici une substance contenant de l'acide sulfurique. L'effet salutaire a, dit-on, été constaté !

TROISIÈME SECTION.

—

Des méthodes mixtes et de l'affinage de la ferraille.

Certaines localités, jouissant encore de quelques richesses forestières et pouvant néanmoins se procurer aisément la houille, ont trouvé des moyens d'économiser le bois en organisant leur fabrication de façon à consommer simultanément les deux combustibles ou à opérer complétement à la houille en utilisant les anciens foyers. D'un autre côté, le développement de l'industrie a nécessité l'introduction du laminoir dans quelques forges à l'allemande; il en est résulté une association des pratiques anglaises et allemandes qui a constitué les méthodes que nous allons décrire.

Méthode champenoise à la houille.

En France, dans les départements de la Côte-d'Or, de la Meuse, de la Haute-Marne, etc., on affine, exclusivement à la houille, des fontes blanches ou truitées blanches obtenues au charbon de bois. A cet effet, on les puddle sans leur faire subir de préparation et on réchauffe les massiaux qui proviennent des loupes, dans des foyers à tuyère, alimentés aussi à la houille, et qui ne sont autre chose que d'anciens feux d'affinerie.

Les fours à puddler ne sont pas partout les mêmes. Les uns sont semblables à celui que représentent les figures 3, 4 et 5; ils ont toujours à la suite de la sole de travail, la petite sole sur laquelle on dépose la fonte pour la réchauffer aux flammes perdues; cela amène d'abord une économie de combustible, lequel est à un prix très-élevé

en Champagne, ensuite une accélération de travail, car le puddlage ne dure plus que cinq quarts d'heure. D'autres fours ont cela de remarquable, qu'ils présentent trois portes sur la même face : une pour la petite sole et deux pour la sole de travail. Nous avons déjà parlé de ces fours doubles ; on les nomme spécialement *fours champenois*. Ceux qui les préconisent, disent que les avantages qu'ils présentent consistent en ce que deux ouvriers, en y travaillant simultanément, peuvent y traiter une plus grande quantité de matière et élaborer celle-ci plus complétement, plus uniformément ; ce fait amènerait une amélioration dans la qualité du fer, qui se serait bonifié assez, pour que la différence de valeur entre les produits de l'un et de l'autre four puisse être représentée par un corroyage. Il a déjà été dit que des résultats aussi heureux n'ont pas été atteints partout.

Quant à l'opération du puddlage, elle est la même que celle qui a été décrite ; seulement, le poids du marteau dont on dispose détermine à faire les balles de moindre volume que dans la méthode anglaise ; on a plus de facilité ainsi à les réduire en massiaux. Pour étirer ceux-ci en barres, on les réchauffe dans des anciens feux d'affinerie, au milieu de la houille embrasée qui, pour cet usage, doit être très-pure. On rencontre de ces chaufferies qui sont recouvertes d'une voûte et munies d'un petit four, dans lequel on commence à chauffer les massiaux avant de les faire tomber dans le creuset. La rapidité de ce réchauffage est suffisante pour subvenir au travail du marteau ; mais, dans les usines où l'on se sert d'un laminoir, il est indispensable d'employer des fours de chaufferie à réverbère.

Le déchet au puddlage ne va pas au delà de 10 p. %; celui du réchauffage varie de 15 à 20 p. %.

Quant à la qualité du fer, il paraît que, généralement, les fontes médiocres donnent de meilleur fer par l'affinage à la houille que par l'affinage au charbon de bois. Mais les bonnes fontes se conduisent tout différemment, le fer qui en vient perd en qualité s'il a été produit à l'aide du combustible minéral. On peut conclure de là que les fers que donne la méthode champenoise à la houille ne sont jamais de qualité supérieure. On les a amélioré dans quelques usines en réchauffant au bois le fer puddlé.

Méthode galloise.

On rencontre, dans le sud de la principauté de Galles, un procédé très-différent de la fabrication anglaise ordinaire. Il consiste à transformer la fonte en fin métal dans une sorte de foyer de finerie alimenté au coke, à parfaire l'affinage dans des foyers allemands au charbon de bois, et enfin à forger le fer en le réchauffant dans un foyer nourri au coke. Ce traitement est appliqué généralement à de bonnes fontes au coke.

Le finage ressemble à celui qui a été décrit ; l'appareil seulement diffère. Les foyers du pays de Galles sont plus petits, ils ont environ $0^m,25$ à $0^m,27$ de profondeur sur $0^m,50$ à $0^m,60$ de côté ; ensuite, ils n'ont qu'une seule tuyère dont on fait varier l'inclinaison en rendant le jet d'air rasant pendant la fusion et plongeant pendant l'affinage ; par cette disposition, on accélère les deux périodes, ce qui permet de terminer l'opération en cinq quarts d'heure. Le produit n'est guère que de 150 kil. de fin métal ; on le coule immédiatement de ce premier foyer dans un second placé derrière et qui est semblable aux foyers d'affinerie ordinaires ; c'est là que doit se faire l'affinage au charbon de bois.

Lorsque l'on se dispose à y recevoir le fin métal en fusion, on nettoie le creuset, on éloigne le charbon et les scories pour préparer la place, puis on fait la coulée. La masse ferreuse est toujours suivie de scories dont on retire la majeure partie ; dans ce but, on arrose le bain d'eau qui, en déterminant la solidification du laitier, en facilite l'enlèvement. On charge les charbons rouges de l'opération précédente et on donne le vent.

Le travail consiste à brasser la masse et à la soulever pour la rapprocher du vent : en trois quarts d'heure, elle a pris consistance. On la divise en morceaux de 5 à 6 kil. que l'on forge successivement, au marteau de 350 kil., en petites plaques. Celles-ci sont plongées immédiatement dans l'eau et partagées ensuite en deux ou trois morceaux, au moyen d'un hacheron et du marteau.

Le fer, dans cet état, n'est pas complétement affiné ; il est cassant, sa texture est à gros grains ou présente de larges facettes. Pour

l'améliorer, on le réchauffe en paquets de trois ou quatre plaquettes, dans des fours au coke.

Ces fours présentent des dispositions particulières : ils sont à trois compartiments. Celui du milieu est le foyer, la combustion y est activée par une tuyère. Latéralement se trouvent deux petites soles de réchauffage, qui ont chacune une porte de chargement sur la face antérieure du four et une ouverture vers le foyer par où pénètre la flamme. Pour mettre en train, on remplit le foyer de coke jusqu'à 0m,05 ou 0m,06 du niveau de deux baies qui sont à la même hauteur que les portes des chauffes ; on donne le vent. En même temps, on charge sur les petites soles latérales, qui sont en briques réfractaires posées de champ, des trousses composées de trois ou quatre plaquettes de fer affiné, et qui se trouvent placées, pour la facilité de la manœuvre, sur une barre plate. Lorsqu'elles y ont acquis la chaleur rouge, on les retire pour les remplacer par d'autres et on les introduit dans le foyer. On ne les place pas sur le combustible, mais au-dessus, et on les maintient en faisant reposer l'extrémité de la barre plate qui les supporte toujours, sur un appui ménagé à cet effet dans l'intérieur du four. Lorsque la charge est ainsi enfournée, on ferme les portes des baies : les trousses passent au blanc soudant en très-peu de temps ; elles sont portées au marteau et étirées en barres.

Par ce procédé, on consomme, pour obtenir une tonne de fer en barres, 1240 kil. de coke et 310 kil. de charbon de bois. Le déchet est de 27,5 p. %.

Ce fer est très-estimé dans le commerce ; on en fait surtout de la tôle pour fer-blanc.

Méthode silésienne.

Dans des usines qui se trouvent près de la petite ville de Rybnick (Haute-Silésie), on a établi, depuis 1811, une méthode mixte d'affinage, qui a été essayée sans succès à l'usine d'Audincourt (Doubs).

On y exécute un commencement d'affinage sur 200 kil. de fonte en morceaux, en la traitant dans un four à réverbère à la houille. On la retire pour la charger sur des chariots, qui la transportent à

un foyer à l'allemande au charbon de bois. Là, 50 kil. environ sont retirés par attachement en quatre ou cinq lopins, qui passent immédiatement aux cylindres. La loupe qui reste est cinglée au marteau, et, pour la transformer en barres à l'aide du laminoir, ainsi que cela se fait depuis vingt ans, on la réchauffe dans des fours à réverbère à la houille.

Le marteau de Rybnick pèse 270 kil. et bat de 95 à 100 coups par minute. Le déchet total est de 32,5 p. %. La consommation en combustible s'élève, pour 100 kil. de fer en barres, à 127 kil. de houille et à 103 kil. de charbon de bois.

Par cette méthode, on a cherché à allier la qualité que donne le travail au bois à la quantité que permet de fabriquer le procédé anglais.

Méthode silésienne modifiée.

MM. de Meillonas frères, depuis le commencement de 1838, ont introduit, dans leur usine de Velars-sur-Ouche, près Dijon, la méthode précédente, en lui faisant subir quelques modifications.

La fonte dont on fait usage dans cette usine est une fonte blanche, provenant des hauts fourneaux de la Côte-d'Or. On en puddle 150 à 160 kil. tous les cinq quarts d'heure ; on agglomère les balles sous un petit marteau de 110 kil., puis on les réduit aux cylindres, en bandes de $0^m,034$ d'épaisseur. Ces bandes sont coupées à la cisaille, en morceaux de $0^m,10$ de longueur, auxquels on donne le nom d'*aplatis*. Il résulte de cette première opération un déchet de 8 ou 9 p. % sur la fonte, et une consommation de 75 kil. de houille pour 100 d'aplatis obtenus.

Dans la seconde partie de l'opération, on affine les aplatis avec de la fonte, dans un foyer d'affinerie bourguignon au charbon de bois et disposé à l'ordinaire. On fond d'abord de 70 à 72 kil. de fonte en gueuse, ce qui demande une demi-heure, puis on fait tomber dans le foyer 90 kil. d'aplatis que l'on avait réchauffés préalablement au rouge cerise sur la sole d'un petit four à chaleur perdue, situé à côté du feu d'affinerie. La fonte à l'état pâteux, qui se trouve dans le foyer, enveloppe les aplatis et fait corps avec eux ; le forgeron

exécute un avalage qui duro un quart d'heure, après quoi la loupe passe aux cylindros. Pour obtenir 1000 kil. de barres, on emploie 580 kil. de fonte, 730 kil. d'aplatis et 3^{m3},32 de charbon de bois. Les barres sont réchauffées dans un four à réverbère pour être converties ensuite en verges.

En comparant cette méthode avec l'affinage bourguignon qu'elle a remplacé, on voit que le nouveau procédé procure une économie de 39 p. °/₀ sur la consommation du combustible végétal, ce qui est un grand avantage dans les localités nù celui-ci est très-cher. Mais, en revanche, il augmente do 12 p. °/₀ la consommation en fonte, et, d'un autre côtó, lo puddlage à la houille doit avoir donné aux fers une qualité inférieure à colle dont ils jouissaient précédemment.

DE L'AFFINAGE DE LA FERRAILLE.

Les pièces en fer hors de servico, les rognures do barres et de tôlo, les riblons, les bouts de fil de fer, les clous, les buchilles de tour, en un mot toute espèce de ferraille provenant du charronnage, de la serrurerie, de la maréchalerie et de la taillanderie, fournit à l'affinage un fer d'excellente qualité, très-doux, très-nerveux; pourvu que l'on ait eu soin d'en éloigner les parties contenant en alliage des métaux qui, comme le cuivre et l'étain, ont une influence des plus fâcheuses sur la qualité du fer, ainsi qu'il sera établi dans la seconde partie de ce mémoire.

Cette utilisation de ces débris de toutes sortes est pratiquée depuis longtemps. D'après Swedenborg, il existait déjà, au XVII[e] siècle, près de Rome, plusieurs forges nù l'on s'occupait exclusivement de convertir en barres lo vieux fer. Aujourd'hui, on trouve cette fabrication dans presque tous les pays, soit dans les grandes usines comme celle de Couillet, par exemple, où l'on dispose do beaucoup de déchets do fer, soit aux environs de grandes villes, comme Paris et Londres, où la quantité de ces matières est toujours considérable.

Affinage au four à réverbère.

Quand on traite du gros fer de rebut, on se contente de couper les pièces, de les réchauffer comme du fer puddlé et de les étirer après. Mais si on a de la menue ferraille à traiter, on l'assemble en paquets dans un atelier de *fagotage*. A cet effet, l'ouvrier prend dans le tas des morceaux de fer plat ou des aplatis qu'on lui fournit, il les place dans des *formes*, de façon à en faire les faces extérieures du paquet; il y met ensuite autant de ferraille qu'il le peut. Le fagot est fermé avec des morceaux de tôle ou, à leur défaut, avec des morceaux de bois. Lorsqu'il a atteint les dimensions voulues, on le comprime fortement au moyen d'un levier et à l'aide de fil de fer ou de quelques rognures pouvant remplir l'office de ligatures, on en fait un tout que l'on peut manier comme un lopin.

Quelquefois, avant de la mettre en paquet, on nettoie la ferraille en la plaçant dans des tonneaux en fonte, percés de trous et mobiles autour de leur axe; mais cette préparation n'est en usage que pour la ferraille menue.

Le soudage des paquets peut s'opérer dans les fours à réchauffer des forges à l'anglaise. La charge peut être de huit ou neuf paquets pesant ensemble de 700 à 800 kil. L'opération dure cinq quarts d'heure. On martèle les fagots, on les réchauffe, on les étire, puis souvent on les corroie.

Le déchet *minimum* pour la grosse ferraille est de 10 p. %; pour la menue ferraille non nettoyée, le déchet peut s'élever à 30 p. %. On consomme de 800 à 900 kil. de houille par tonne de fer fini.

Le soudage se fait, en Angleterre, dans les fours à trois compartiments, que nous avons décrits dans la méthode mixte galloise.

M. Karsten cite un procédé qui consiste à mettre la ferraille dans des creusets qui ont $0^m,10$ de hauteur sur $0^m,28$ à $0^m,31$ de diamètre, et qu'on place au nombre de huit à dix dans un four. Nous ne saurions affirmer que cette pratique est encore en usage : le déchet y était moindre, parce que les vases garantissaient le fer du contact de l'air, mais il n'en résultait réellement aucune économie, après avoir payé les vases.

Enfin, dans quelques usines à l'anglaise, on passe la ferraille au puddlage avec de la fonte : elle entre pour un sixième dans le chargement. D'autres fois, on l'introduit en plusieurs portions lorsque la fonte est déjà liquéfiée, après quoi on brasse.

Le fer de ferraille est de très-bonne qualité à chaud et à froid; il est estimé particulièrement pour la confection des pièces de machine.

Affinage au foyer d'affinerie.

On traite encore le vieux fer dans les foyers au bois à l'allemande. Dans les usines où on ne dispose que d'une petite quantité de débris, on ajoute la ferraille quand la loupe provenant de la fonte est formée et on travaille la masse comme à l'ordinaire.

D'autres fois on traite au contraire la ferraille avec un douzième de fonte seulement. Cela se fait dans un feu profond et à vent rasant. On fait fondre d'abord des sornes et de la fonte que l'on affine pendant la fusion même. On charge ensuite en combustible, sur lequel on place la ferraille qui s'échauffe et finit par gagner le fond. Il arrive souvent alors que l'on brasse le bain, après quoi la loupe est bonne à être cinglée.

On traite ordinairement de 75 à 100 kil. de ferraille à la fois. Le déchet varie de 10 à 12 p. %; la consommation de combustible est considérable.

QUATRIÈME SECTION.

Des méthodes directes.

La conversion immédiate des minerais en fer malléable, représente le principe de la fabrication du fer pendant toute l'antiquité et durant le moyen âge. Jusqu'au xve siècle, on n'employa pas d'autre procédé, bien qu'avant cette époque la fonte fût déjà connue.

Si l'on recherche l'origine de l'industrie sidérurgique en Espagne, on trouve que ce sont les Chalybes, peuples de l'Arménie et du Pont qui, après avoir fondé une colonie dans ce pays, y élevèrent des forges. La réputation dont jouissaient leurs produits était telle, que leur acier reçut chez les Grecs l'épithète de χάλυβς.

C'est de cette manière de traiter les minerais que s'occupe le plus ancien ouvrage que nous possédions et ayant trait à la métallurgie : nous voulons parler du poëme *sur les forges*, en latin, de Nicolas Bourbon. Cet ouvrage, écrit en 1517, ne laisse pas que d'être remarquable par les détails qu'il relate.

Méthode catalane.

La méthode dite *catalane* se pratique aujourd'hui non-seulement en Catalogne, mais encore en Biscaye, en Navarre, dans les Pyrénées, en Corse et en Italie où elle subit quelques modifications. On la rencontre en France dans les départements de l'Ariège, des Pyrénées et de l'Aude, où elle se substitua avec avantage à la méthode

bergamasque. Elle est aussi pratiquée dans quelques états de l'Amérique du Nord.

Le but que l'on y poursuit est de transformer, dans un espace restreint et par une seule opération, le minerai de fer oxydé, en fer métallique.

La forge catalane présente les mêmes appareils que la forge à l'allemande, à savoir : un creuset pratiqué dans l'angle d'un massif grossièrement fait et qui s'élève de 0^{m},80 au-dessus du sol; une machine soufflante, qui est ordinairement une trompe ; un marteau généralement *à bascule*, c'est-à-dire que l'axe de rotation du système est placé entre la tête et la came qui donne le mouvement au manche. Le poids de la tête, en fonte ou en fer, est environ de 650 kil.; ces appareils battent de 100 à 120 coups par minute. La table de l'enclume qui les accompagne est presqu'au niveau du sol de l'usine. On y trouve presque toujours un vieux marteau sur lequel on bat les ringards pour les débarrasser des scories, ou bien une pierre ronde cerclée de fer et servant au même usage.

Le creuset, souvent de construction grossière, est établi à l'abri de l'humidité. Ses dimensions varient avec les localités ; de là, différents noms donnés à des feux où le travail est cependant identiquement le même. Pour toute exactitude, il faut ajouter que les diverses dénominations, au temps où elles sont nées, étaient aussi justifiées par des dispositions de foyers plus dissemblables que celles que nous rencontrons aujourd'hui. C'est ainsi que les creusets de Biscaye avaient jadis la forme de cônes elliptiques renversés; on en cite même encore dans le Guipuscoa, mais ils sont rares. Les creusets d'à-présent sont rectangulaires, construits en schiste micacé, ou bien, garnis de pièces de fonte ; le fond est toujours formé par une pierre, un poudingue de préférence, si on en a à sa disposition. On aime à lui donner un creux en son milieu, mais il ne doit jamais avoir plus de 0^{m},12 de flèche.

Les faces du foyer reçoivent souvent des dénominations que nous n'avons pas encore citées : ainsi, le laiterol se nommera *main;* la haire ou rustino, *cave;* la face de tuyère, *côté des porges,* et le contrevent, *ore.*

Le tableau suivant réunit les dimensions ordinaires des fourneaux catalans, navarrais et biscayens :

DIMENSIONS.	FOYERS		
	catalans.	navarrais.	biscayens.
	mm	mm	mm
Longueur ou distance du laiterol à la rustine, prise au fond. .	500	640	900
Id. id. prise à l'orifice.	580	960	1280
Largeur ou distance de la varme au contrevent, au fond . . .	640	720	845
Id id. à l'orifice. .	470	530	815
Profondeur du creuset.	430	690	720
Profondeur à partir de la tuyère	240	320	380

Le foyer catalan qui, comme on le voit, est le plus petit, se rencontre dans les Pyrénées-Orientales ; la sole y est ordinairement au niveau du sol de l'usine. Le foyer navarrais est employé dans les Basses-Pyrénées et dans la Navarre espagnole ; le fond y est à un niveau inférieur au sol ; en avant du laiterol, on remarque une fosse destinée à recevoir le laitier.

Au-dessus de ces fourneaux, il n'existe ni cheminée, ni hotte pour l'écoulement des produits de la combustion. (*Voir* fig. 11, 12 et 13.)

Le laiterol est vertical : il est formé de deux pièces de fer de $0^m,07$ à $0^m,08$ d'épaisseur sur $0^m,15$ à $0^m,20$ de largeur ; elles s'enfoncent dans le sol de $0^m,25$ et elles ont une hauteur déterminée par celle de la face du laiterol ; elles laissent entre elles un intervalle de $0^m,06$. Une pièce de fer *a*, nommée *respalme*, y est encastrée ; elle pénètre également en terre, mais moins profondément que les deux pièces du laiterol ; elle ne s'élève que de quelques centimètres au-dessus du sol de l'usine ; le reste de l'intervalle est rempli par du bouchage qu'on peut percer à volonté avec un ringard pour faire écouler les scories. La respalme sert de point d'appui au ringard qu'on introduit pour nettoyer le foyer et soulever le masset. Les deux pièces qui laissent entre elles la fente du laiterol, en supportent une troisième nommée *plie*, *b*, encastrée par ses extrémités. La

plie maintient en position des barres qui forment une plaque de travail de 0m,40 de largeur, s'inclinant vers le feu de 10 degrés environ, et qui a reçu le nom de *banquette, cc.*

La cave n'est pas verticale ; on la renverse en arrière jusqu'au niveau supérieur de l'ore, ce qui évase le foyer à la partie supérieure ; à partir de ce niveau, la cave s'élève verticalement. Elle est construite en pierres maçonnées grossièrement avec de la terre à fourneau.

Le contrevent est fortement déversé en dehors : les pièces en fer *d* qui le composent, prennent une inclinaison qui va en décroissant à partir du fond.

Le côté des porges est aussi formé de pièces de fer *f* d'un fort équarrissage et qui se placent sous la tuyère. Immédiatement au-dessus des porges, se trouve une petite galerie voûtée et inclinée, par laquelle on introduit la tuyère *t*. La tuyère est en cuivre rouge ; elle doit fournir de 7 à 8 mètres cubes d'air par minute à un fourneau catalan, et de 8 à 10 mètres cubes aux fourneaux navarrais et biscayens. Son inclinaison est de 40 à 42 degrés ; elle reçoit vers la cave une déviation de 3 à 4 degrés, parce que la quantité de matière est plus grande de ce côté ; quant aux autres artifices du feu, d'un intérêt tout secondaire, et variant suivant les localités, le plus souvent sans raison, ils se trouveront indiqués, en général, par les dimensions de la figure.

Le charbon de bois est non-seulement le seul combustible employé, mais bien probablement aussi le seul qui puisse l'être. Il est d'autant meilleur qu'il est plus sec et plus dur ; les essences que l'on emploie le plus généralement sont le chêne, le hêtre, le pin et le sapin.

Les minerais, pour être propres au traitement par les méthodes directes, doivent jouir d'une pureté, d'une fusibilité qui en restreignent le choix ; leur teneur moyenne doit être de 40 à 50 p. % de fer métallique ; ils doivent se trouver en roche ; ceux dont on fait usage dans les usines sont des hématites des fers oxydulés, des fers spathiques décomposés et souvent mélangés. Étant rendus à l'usine en blocs, ils sont concassés sous un marteau, de manière à être réduits en fragments de la grosseur d'une noix.

Passé à un crible de 0m,01 d'écartement, le produit du cassage

se divise en menus éclats qui forment la *greillade* et en morceaux de grosseur convenable qui restent sur la maille. S'il y a lieu, on profite de cette division pour opérer un triage des parties nuisibles que le minerai pourrait contenir; mais c'est là chose rare. Il est des localités où on ne procède au cassage que sur des minerais qui ont été préalablement grillés; comme on le pense bien, la nature de la mine est pour beaucoup dans cette mesure : c'est ainsi qu'on la juge superflue, dans les Pyrénées, pour l'hématite brune compacte, bien qu'on ait prétendu qu'alors le fer était moins doux, aciéreux et parfois pailleux. Le plus généralement on s'abstient de cette opération préparatoire, parce qu'avant d'entrer réellement en élaboration, la mine subit un véritable grillage, par suite de la disposition du feu. Quoi qu'il en soit, convenablement préparé, le minerai est disposé dans le foyer, ainsi que nous allons le dire.

Plaçons-nous à la fin d'une opération, au moment où on a enlevé la loupe et où on se prépare à un nouveau fondage. Un ouvrier nettoie le creuset en enlevant les scories qui adhèrent aux parois et celles qui sont mélangées avec les charbons embrasés demeurés dans le foyer; puis il jette dans celui-ci les sornes qui se sont détachées du masset, ainsi que le combustible incandescent qu'il en avait retiré pour faciliter la sortie de la loupe; il recouvre ces matières de charbons frais qu'il tasse à l'aide d'une pelle, en ayant soin de briser les plus gros morceaux, et cela jusqu'à un peu au-dessous du museau de la tuyère. On divise ensuite le creuset en deux parties au moyen d'une planche ou d'une pelle en fer que l'on place de champ aux deux tiers de la largeur, à partir de la varme et parallèlement à cette face. Le compartiment du côté des porges est rempli de charbons que l'on tasse avec une espèce de râble nommé *bascou*, tandis que l'autre compartiment, du côté de l'ore, reçoit le minerai concassé et criblé. Ce minerai n'est pas placé tout à fait contre la surface postiche qui sert de séparation, mais on lui fait prendre un talus de façon à laisser entre la planche et lui, un espace qui a la forme d'un prisme triangulaire. Dans cet espace, on bat fortement de la brasque et du fraisil mouillé, qui constituent ainsi une sorte de cloison entre le charbon et le minerai. Cela fait, on retire la planche ou la pelle et on recouvre le charbon de poussier, de greillade et de scories

humides, que l'on tasse de façon à en faire une sorto de voûte qui forme obstacle à l'issue des gaz.

Lorsque le chargement est opéré, on bouche le trou de chio avec de la terre grasse et on donne un bon coup de vent afin de dégager la tuyère et d'aviver lo feu. Puis, on commence à souffler lentement d'abord, mais en suivant bientôt une progression croissante que nous indiquerons plus loin : par cette mesure, on évite les chutes de minerai et l'on prépare une élaboration bien réglée. Bientôt on voit apparaître, du côté droit, des flammes bleuâtres qui se font jour à travers le minerai et qui ne sont autre chose que de l'oxyde de carbone en combustion. Comme on le comprendra par la suite, par économie et pour la bonne marche de la réduction, il est nécessaire que ces flammes ne puissent se montrer du côté gauche ; si ce phénomène se manifestait, on devrait couvrir tout de suite en fraisil mouillé et battre fortement afin de clore les interstices de la voûte. Le charbon qui se consume dans le compartiment de gauche est renouvellé selon le besoin et le minerai est maintenu contre l'ore. Au bout de vingt-six minutes (1), on charge en greillade que l'on arrose avec de l'eau. A cet instant, la chaleur du foyer peut être utilisée au réchauffage et à l'étirage des massoquettes qui proviennent des opérations précédentes. A cet effet, on les saisit avec des tenailles et on les introduit dans le charbon du côté de la tuyère, en les laissant glisser sur la banquette. Lorsqu'elles sont dans le feu, on les retourne de temps à autre, afin que chacune des faces ait été successivement dans une même position. On étire la moitié de la massoquette en forme de barre, c'est ce que l'on appelle *faire la queue* ; cette queue sert à saisir la pièce quand on la chauffe de nouveau pour en étirer l'autre moitié. Pendant ce temps, on a continué à charger en charbon, en greillade et à arroser d'eau. Après soixante et dix minutes, on met au feu une massoque de l'opération précédente, afin de la réchauffer ; elle y reste quarante-cinq minutes, après quoi on la coupe en massoquettes, comme il sera dit plus loin En effoctuant les chargements, comme nous venons de l'indiquer, on a réellement

(1) Les phases de l'opération, désignées par les heures qui leur correspondent, ont été indiquées d'après une observation de M. Richard, consignée dans son *Étude sur l'art d'extraire immediatement le fer de ses minerais.*

stratifié le charbon avec de petites couches de greillade et de scories riches mouillées ; de sorte que, l'oxygène du vent donnant naissance à de l'oxyde carbonique, celui-ci trouve, dans ces sortes de voûtes, une résistance à traverser la masse de charbon et se dirige vers le minerai en morceaux qu'il traverse avec facilité et qu'il réduit en s'oxydant, à la faveur de la chaleur produite et dans des circonstances que nous nous proposons d'établir bientôt avec détails.

D'un autre côté, cette greillade, qu'à plusieurs reprises on a ajoutée, se trouvant, en descendant, au sein du combustible en ignition, subit elle-même l'influence des réducteurs et s'élabore assez rapidement pour qu'au bout d'une heure et demie ou deux heures, on puisse déjà opérer la coulée des scories qui en proviennent. Ces scories se figent bientôt en un seul gâteau, on les rejette sur le feu. On continue à charger en charbon et on termine l'étirage des massoquettes. Au bout de deux heures vingt-cinq minutes, on fait une seconde percée du chio et on augmente la pression du vent. Déjà alors, par son élaboration hâtive, la greillade a donné du fer métallique, qui va former au fond du creuset le principe du masset. A l'effet de concentrer la chaleur à l'intérieur et d'éviter qu'il ne se consume inutilement, le charbon est arrosé d'eau de temps en temps. Pendant que l'on continue le service du feu, l'*escola* ou fondeur, monté sur l'aire du fourneau, s'assure de l'état du minerai en enfonçant un ringard aplati, nommé *palanque*, entre la masse et l'ore : s'il constate l'agglutination des noyaux de minerai, si, à son ringard poussé jusqu'au fond, il s'est attaché quelque partie métallique, l'opération est assez avancée pour qu'on doive en accélérer la marche. On repousse alors dans le fourneau, à l'aide du bascou, le minerai qui débordait au dehors du creuset. On perce le trou de chio pour la troisième fois et l'on commence à travailler la mine, environ deux heures quarante minutes après le chargeage. Au moyen de son outil, faisant office de levier, l'escola pousse la partie inférieure de la masse de matière en élaboration, vers le centre du creuset, et livre ainsi, en la rapprochant du feu, la partie supérieure à une réduction plus active.

C'est une règle toujours suivie que de percer le trou de chio avant de travailler dans le creuset; plus l'opération avance, plus l'abondance des scories est grande, plus par conséquent l'intervalle entre

deux percées devra être court. Dans les charges qu'il fait en scories, l'ouvrier n'utilise jamais que celles qui sont lourdes et compactes, il rejette celles qui sont sèches, c'est-à-dire boursoufflées.

Tout en perçant de nouveau le chio, après trois heures quinze minutes, on continue de travailler la mine; on renouvelle cette manœuvre dix minutes plus tard. Pendant que le chio est ouvert, on remarque que la flamme est rouge, mais aussitôt qu'on le ferme, l'oxyde de carbone, reprenant son cours, vient de nouveau bleuir la flamme. Au bout de trois heures trente-cinq minutes, on fait une nouvelle percée; le vent est à son *maximum* de pression; on ne charge plus de greillade. La partie inférieure de la mine, qui était devenue pâteuse, a laissé sa guangue s'en aller en scorie, tandis que l'agent réducteur, en opérant une désoxydation, a déterminé la précipitation du métal lui-même qui vient nourrir le principe du masset. Par le travail de l'escola, après quatre ou cinq heures, tout le minerai est descendu et se trouve recouvert de charbon. On n'en continue pas moins le travail dans tous les sens. On charge en combustible et l'on fait écouler les scories de cinq en cinq minutes.

A ce point, dans quelques localités, on charge en vieille ferraille, dont le fer, rapidement revivifié, se réunit à celui qui provient du minerai.

Le principe du masset ayant été convenablement assis dans le foyer, l'ouvrier, avec son ringard, réunit vers ce siége les grumeaux de fer disséminés et les fait concourir, par leur agglomération, à la formation de la loupe. Il presse bien celle-ci, de façon à en briser les aspérités, à lui donner une forme régulière. Il est averti de la fin de l'opération par la flamme qui blanchit et dont l'éclat est un indice de la pureté du fer. Dès lors, pour détacher le masset du fond, il embarre de toute part avec la palanque et fouille en introduisant son outil par le trou de chio. Quand le masset est libre, on ferme les étranguillons de la trompe, on enlève les charbons embrasés et l'on sort la loupe à l'aide des ringards. Saisie par des tenailles, elle est déposée sur le sol de la forge, battue à coups de masse, puis traînée au marteau où elle reçoit la forme d'un parallélipipède allongé. Le marteau frappe d'abord sur la face qui se trouvait tournée vers la

pierre de fond, puis sur celle de l'ore, ensuite sur le côté de la tuyère. Après ce cinglage, le masset est divisé en deux massoques, dont l'une est forgée immédiatement, tandis que l'autre est portée à réchauffer dans les charbons du foyer. Chaque massoque, coupée suivant la longueur en deux massoquettes, est ensuite étirée en barres assez grossières.

M. Richard admet que, dans la forge la mieux conduite et sur la durée d'une campagne entière, 100 kil. de minerai exigent 106,14 kil. de charbon et rendent 30,63 kil. de fer en barres ; en d'autres termes, 100 kil. de fer en barres sont fournis par 324 kil. de minerai et 345,92 kil. de charbon ; ou bien encore, 100 kil. de charbon fondent 94,21 kil. de minerai et produisent 28,97 kil. de fer.

Voici, du reste, d'après les données du même auteur, comment se transforme, pendant une opération, le minerai de Rancié, employé à la forge de Montgaillard, département de l'Ariège. La charge totale en minerai, pour un seul fondage, est de 487 kil.; mais nous avons cru plus intéressant de calculer les transformations qui s'opèrent au feu, sur une masse de 100 kil. : c'est sur ce pied que nous avons dressé le tableau suivant :

Composition de 100 de minerai		Ce que deviennent les divers éléments.	La scorie reçoit :	Oxygène combiné dans la scorie.	
Eau	12,112	Se vaporise.	»	»	»
Silice	14,715	Passe aux scories	14,715	. . .	7,646
Fer métallique. . .	43,320	On en retire 30,8 k. de fer en barres, le reste passe aux scories à l'état de protoxyde	12,520		
Oxygène combiné. .	19,154	Ce qui donne en oxygène pour le fer de la scorie	3,691	3,691	
Oxyde manganique.	6,213	Passe à l'état d'oxyde manganeux dans la scorie.	5,097	1,146	
Chaux	2,790	Passe dans la scorie	2,790	0,797	6,348
Alumine	1,014	Id.	1,014	0,473	
Magnésie	0,545	Id.	0,545	0,244	
Perte.	0,437		0,437		
	100,000		40,509		

Quant aux quantités de vent fournies par la trompe aux différentes époques de l'opération, le tableau suivant les présente réunies :

Pression du vent exprimée en hauteur de mercure.	Temps pendant lequel le vent a été lancé.	Poids de l'air lancé par minute.	Poids de l'air pour chaque période.
m.	minutes.	kil.	kil.
0,0361	73	5,976	436,25
0,0454	69	6,684	462,20
0,0621	42	7,886	331,21
0,0722	46	8,403	386,54
0,0812	133	8,901	1183,83
	363 ou 6 h. 3 m.	Poids moyen, 7,5 kil.	2800,03

Le prix de revient de la tonne de fer est, pour les forges de l'Ariège, do 449 francs environ.

L'allure des feux catalans est peu régulière. Cette méthode n'a guère participé aux progrès de la métallurgie, bien qu'elle ait été cependant l'objet d'études sérieuses de la part de plusieurs ingénieurs, parmi lesquels se distingue particulièrement M. François. Jusqu'ici nous n'avons exposé quo la manœuvre du feu, nous allons entreprendre à présent de faire voir les moindres phases de la transformation du minerai, sous l'influence des agents qu'il rencontro.

Prenons le feu au moment où l'escola est entièrement occupé à donner la mine, en la poussant vers le centre.

Si le minerai n'a pas été grillé, il a subi déjà, par la chaleur du foyer, un traitement analogue qui a amené, en partie, la volatilisation de l'eau, de l'acide carbonique des carbonates et d'autres matières gazéifiables. A la partie supérieure de la masse minérale, les fragments offrent cependant encore la texture du minerai brut, l'altération y est très-faible ; mais un peu plus bas, ils ont perdu leur eau d'hydratation et même un peu d'oxygène, ce qui a métamorphosé une partie du peroxyde de fer en oxydo magnétiquo. L'analyse constate la présence do ces corps partout où le fragment a été exposé

aux réductifs, c'est-à-dire à la surface et dans les gerçures que le grillage a formées ; ces altérations sont d'autant plus profondes que l'étage de l'observation est moins élevé.

Descendons.

L'éclat tend au vitreux et fait pressentir la scorification ; l'oxyde magnétique commence à se réduire en oxyde des battitures.

Plus bas, la scorification apparaît aux gerçures : ce suintement annonce que déjà du fer s'est dissocié de sa guangue pour se revivifier. L'action réductive a dû nécessairement se propager dans chaque noyau, de la surface au centre, et nous le constaterons aisément en cassant un noyau : l'enveloppe de scorie, encore solide, laisse voir déjà une pellicule métallique vers l'intérieur ; vers les régions centrales apparaissent des boursoufflures, tendances manifestes à la scorification, qui indiquent un dégagement de gaz et montrent, de concert avec l'analyse, que la réduction a continué progressivement son œuvre.

A l'échelon où nous sommes parvenus, nous nous trouvons à peu près au milieu de la hauteur de la masse minérale. Les matières scoriacées qui enveloppent les fragments, sous l'effet d'une température qui augmente, se ramollissent et il en résulte l'agglutination de ces fragments. Pendant que ce fait physique s'accomplit, la révolution chimique parfait son œuvre et le tégument ferreux se développe. Constatons encore une fois le rayonnement de l'effet chimique, en cassant un noyau ; ses régions concentriques soumises à des essais permettent de suivre l'élaboration : on remarque à l'enveloppe extérieure l'exsudation d'une scorie d'un jaune verdâtre ; l'analyse apprend que le silicate qui la forme est neutre, c'est-à-dire que la quantité d'oxygène de l'acide est égale à la somme des quantités d'oxygène que renferme la base à radicaux multiples ; la surface intérieure de l'enveloppe est formée de parcelles de fer métallique et l'intérieur du noyau présente une scorification boursoufflée. La composition de cette dernière zone fluide est celle d'une scorie riche en oxyde de fer. Cet oxyde se réduit peu à peu et son radical va se joindre au tégument ferreux, favorisé qu'il est dans sa translation par la fluidité des scories qui suintent. Enfin, vient le globe

central, où l'élaboration est moins avancée, qui n'est qu'une matière à demi-fondue en train d'obéir aux agents chimiques.

D'après cet aspect des fragments, d'après le mode de formation de leur enveloppe ferreuse qui se nourrit de grenailles microscopiques charriées de l'intérieur par les scories fluides, il est aisé de décrire la formation de la loupe elle-même. En effet, cette matière qui quitte continuellement le centre de chaque noyau, y laisse nécessairement un vide qui ne disparaît que par l'aplatissement des enveloppes ferreuses. Mais cet aplatissement n'a pas lieu sans crevasses et celles-ci forment autant d'issues par lesquelles s'écoule la scorie très-riche qui restait au centre du noyau et qui vient maintenant recouvrir les enveloppes ferreuses. Notons cette circonstance, elle concourra tantôt à donner la raison de la nature variable des produits que l'on obtient dans les foyers catalans. Dans cet état de choses, les téguments métalliques aplatis, se trouvant sous l'influence d'une température qui s'élève, perdent une partie de la scorie dont ils sont imprégnés et finissent, en se soudant, par faire corps avec le principe du masset avec lequel ils constituent la loupe.

Jusqu'ici nous avons négligé de parler de l'élaboration de la greillade qui a fourni le principe; au demeurant, on pourrait passer outre, puisqu'elle n'est autre chose que la reproduction de l'élaboration des noyaux : seulement ici, les fragments, par leur exiguïté, offrant plus de prise aux agents de réduction et étant, au sein des charbons incandescents, sous l'influence d'une plus haute température, ces fragments, disons-nous, subiront une réduction accélérée; rapidement donc, ils fourniront la scorie, silicate très-basique et très-riche, dont nous avons parlé tantôt et qui venait recouvrir le masset. Dans cette scorie, plongent beaucoup de charbons, et peut-être ce corps solide y détermine-t-il le phénomène d'attachement dont il a été question à propos de l'affinage à l'allemande ; quoi qu'il en soit, les particules de fer provenant de la greillade donnent naissance, en se soudant, au principe du masset.

Outre cette scorie qui s'écoule des noyaux aplatis, il en est une autre de laquelle nous devons dire quelques mots, parce qu'elle est réellement propre à la forge catalane ; dans tout le travail, elle tend

à se produiro : si la préparation du minerai a été assez mal entendue pour en gêner la production, l'allure languit, l'élaboration est confuse, tandis qu'elle jouit d'une grande régularité dans le cas contraire. C'est cette même scorie qui exsude en gouttelettes des noyaux de minerai. L'analyse de ce silicate multiple neutre a donné à M. François :

Silice	33,00	contenant	17,16	d'exygène	17,16
Protoxyde de fer	39 80	id.	9,16		
Protoxyde de manganèse	13,00	id.	2,86		
Chaux	5,00	id.	1,12	id.	16,13
Magnésie	6,00	id.	2,35		
Alumiee	2,00	id.	0,94		
Grenailles	1,20				
	100,00				

C'est encore cette scorie qui tend à se produire, lorsque le silicate très-basique et très-riche écoulé de la greillade et du minerai vient agir chimiquement sur le fer plus ou moins carburé, et comme cette action renfermo tout le secret de la naturo des produits, nous allons nous en occuper avec quelques détails.

Les foyers catalans peuvent non-seulement produire du fer doux, mais encore du fer fort ou aciéreux, voire même de l'acier. Pour guider le feu en vue de l'obtention de telle ou telle qualité de fer, il suffit de se rendre compte des circonstances qui déterminent la carburation du métal et de celles qui la font disparaître lorsqu'elle a été produite. Or, ces circonstances sont celles-ci : l'union du fer et du carbone a lieu par cémentation (1), pendant le séjour et l'élaboration du minerai au contrevent ; elle peut se trouver plus ou moins détruite lorsque lo fer carburé ou aciéreux, étant descendu au fond du creuset, se trouve sous l'action chimique d'un bain de scories riches et basiques ; car celles-ci, tendant à reprendre leur neutralité, se débarrasseront do l'oxygène d'un excès de base au bénéfice du carbone

(1) La cémeetation est, en le sait, une prétendue action anomale du charbon solide : neus avens employé ce met ici parce qu'il est, en quelque sorte, consacré par l'usage ; mais c'est sous toutes réserves, alteedu que neus eous proposons d'en discuter la valeur plus loie

de cémentation, et, dès lors, la nature du fer se trouvera singulièrement modifiée.

La conduite du travail est la conséquence de ces faits. Si l'on veut fabriquer du fer doux, par exemple, il faudra éviter la carburation. Or quand et où se fait cette carburation ? Nous l'avons dit, pendant l'élaboration, au contrevent. Donc, il faudra hâter cette partie de l'opération en marchant d'une allure rapide et soutenue. De cette façon aussi, les noyaux de minerai dont l'élaboration aura été hâtée fourniront beaucoup de ces scories riches et basiques, dont l'action décarburante désacierora les parties préalablement cémentées ; et comme la greillade donne aussi de ces scories, il faudra en charger souvent ; enfin, et toujours pour la même raison, on percera moins le trou de chio, que si l'on marchait en fer fort, puisque cette manœuvre ouvre passage à l'oxydant du carbone.

Par des considérations inversément analogues, pour obtenir du fer fort, on laissera avancer la cémentation par un séjour plus long de la mine au contrevent ; à cet effet, on donne moins de pente à ce contrevent, afin que la matière descende moins aisément. L'élaboration étant ainsi plus complète, les scories fournies par les noyaux seront plus pauvres et jouiront d'un moindre pouvoir décarburant. On ne jettera de greillade que pour former le principe, et l'on percera souvent le chio, afin de soustraire le masset à toute chance de décarburation. D'un autre côté, les minerais manganésifères seront favorables à la production d'un fer aciéreux, attendu que les silicates de manganèse des scories ont une action décarburante moins forte que les silicates de fer.

Selon les qualités de fer que l'on veut obtenir, on doit aussi modifier les artifices du feu. Voici les dimensions des foyers catalans, pour fer et pour acier, usitées à l'usine de Sahorre, près de Villefranche, dans les Pyrénées-Orientales. On y travaille plusieurs minerais.

	Pour fer.	Pour acier.
Largeur au fond du creuset, depuis le côté des porges jusqu'au pied de l'ore.	0,52	0,48
Distance de la cave au laiterol (elle est la même en haut et en bas). . . .	0,60	0,54
Distance des porges au sommet de l'ore	0,70	0,60
Profondeur du creuset	0,87	0,84

	Pour fer.	Pour acier.
Hauteur de la tuyère à son entrée dans le creuset	0,49	0,46
Hauteur du trou de chio	0,08	0,08
Saillie de la tuyère	0,16	0,16
Inclinaison de la tuyère	38° à 39°	49° au moins.

On remarque dans ce tableau que, pour acier, le foyer est plus étroit et proportionnellement plus profond et que la tuyère y est plus plongeante ; cette dernière donnée n'est pas généralement admise, par la raison que le masset à nu serait plus directement soumis à l'action oxydante du vent ; quant à la première, elle est parfaitement fondée, attendu que, disposé sur une plus grande hauteur, le tas de minerai restera plus longtemps en élaboration. Les autres soins consistent à employer le charbon le plus dense, à charger moins en minerai et en greillade, à déverser davantage le contrevent et à faire usage de minerais manganésés.

Dans une opération faite en présence des commissaires de la Société d'Agriculture de Perpignan, 358 kil. de minerai consommant 525 kil. de charbon, ont donné, en six heures et demie, 150 kil. d'acier ; c'est-à-dire que, pour 100 kil. d'acier obtenus, on a employé 350 kil. de charbon et 147 kil. de minerai.

Ce minerai était composé comme il suit :

Matières volatiles	100
Silice	12
Oxyde de manganèse	22
Chaux	14
Magnésie	10
Oxyde de fer	830
Perte	12
	1000

Maintenant que nous avons développé minutieusement tout ce qui a rapport aux modifications physiques que subit successivement le minerai en élaboration, il nous reste à remonter de l'effet à la cause et à dévoiler la formation et le travail chimique de l'agent réducteur.

L'examen de cette question est intéressant à plus d'un titre. Il nous

fournira une occasion de dire quel est le mode d'action du charbon à l'égard du minerai. Ce point, le plus important, sans contredit, dans tous les travaux des arts métallurgiques, fut longtemps dans l'obscurité : aujourd'hui, les investigations des savants l'ont mis en lumière. Mais si les études sur la matière permettent d'être explicite en parlant de la réduction par le charbon, il n'en est plus de même alors qu'il s'agit de la carburation. L'ignorance des circonstances intimes de ce phénomène obscurcit encore cette partie de la science : nous n'avons pu que faire une tentative, toute spéculative, pour soulever le voile qui couvre la vérité.

Plusieurs fois déjà, dans ce chapitre, il a été parlé de *cémentation*. Comme on sait, nous entendions désigner par là l'action du charbon solide sur un autre solide, tel qu'un fragment de minerai de fer. Considéré dans l'acte de la réduction, le phénomène de la cémentation consiste en ce qu'un morceau de certains oxydes, et de préférence disons, pour fixer les idées, d'oxyde de fer, placé au milieu d'une brasque de charbon et chauffé au rouge, perd peu à peu son oxygène et se réduit totalement en fer métallique, sans que le carbone, l'oxyde de fer primitif et ses modifications intermédiaires cessent un instant d'être à l'état solide. Cette réaction d'une masse de charbon et d'une autre masse, toutes deux supposées à l'état solide parfaitement permanent, est-elle admissible en principe ?

Si le carbone ne réduisait que la partie extérieure du fragment d'oxyde, on pourrait admettre, avec grande apparence de vraisemblance, que les corps solides jouissent d'un contact assez intime pour réagir. Pour certains faits, on est même conduit à admettre cette supposition. Mais comment, dans cette hypothèse, expliquer le rayonnement de l'effet chimique à distance ? Comment expliquer la réduction intégrale, alors que les régions centrales trouvent, dans leur enveloppe préalablement réduite, une sorte de rempart contre l'action du désoxydant ?...

Les chimistes philosophes qui méditèrent sur ce point, gratifièrent le carbone, à ce sujet, d'une propriété spéciale. Ne trouvant pas à établir une théorie rationnelle, ils créèrent un mot qui consacrait,

en quelque sorte, la lacune; dès lors, dans les circonstances qui nous occupent, le carbone fut réputé agir *par cémentation*.

Jusque dans ces derniers temps, les métallurgistes ne surent que constater sans le combler, le vide qui existait là. Peut-être ne serat-il pas sans intérêt d'exposer comment les germes d'une appréciation exacte des faits furent déposés dans le domaine de la science. Les recherches qu'a faites, à ce sujet, M. Le Play présentent un intérêt trop vif pour que nous n'en profitions pas largement.

Dès les derniers siècles, on avait reconnu que l'état de fluidité des réactifs favorisait l'action chimique. C'est ainsi qu'on lit dans Herman Bœrhave (1) : « *Cuncta docent igitur, omnia fere menstrua,* « *solida fuerint, vel fluida, eo tamen tempore quo agunt, reducta prius* « *esse in naturam fluidorum.* » On connaît aussi l'aphorisme des alchimistes : « *Corpora non agunt nisi soluta.* » On conçoit en effet que, tout en admettant, entre deux masses solides, le contact, circonstance indispensable pour qu'il y ait réaction, le produit de cette réaction, s'il est solide aussi, se trouvera être un obstacle à l'extension de l'effet chimique dans les deux masses; tandis que si l'une des masses en réaction est fluide, elle jouira d'une facilité de dispersion propre à cet état moléculaire et favorable à la combinaison totale des deux masses.

La nature ne procède pas par extravagances : quand une loi a été établie en conséquence de faits nombreux, clairs et précis, toute exception apparente à cette règle est le résultat d'un myopisme qui ne peut discerner le trait d'union entre le fait isolé et la loi générale. Le point qui nous occupe en est une preuve. Aujourd'hui le nuage qui séparait l'exception de la communauté des faits s'est dissipé et le lien qui les unit a paru. Le carbone n'est pas l'agent direct de la réduction; la vraie cause de son action désoxydante réside exclusivement dans la formation de l'oxyde carbonique; l'extension de cette action à toute la masse, n'est que le résultat de la faculté d'infiltration dont jouissent les gaz.

Si la théorie vraie resta longtemps ensevelie sous l'hypothèse, si

(1) *Elementa chemiæ*, t. I, p. 372. Paris, 1733.

suspecte par son excentricité, de l'action du carbone solide à distance, cela vient de ce quo l'oxyde do carbone, découvert par Priestley en 1796, fut fort mal connu dans lo principe. Les recherches et les études auxquelles il donna lieu, furent nombreuses cependant, car elles servirent d'armes dans cette lutte d'une suprême importance où l'école de Lavoisier détruisit la doctrine du phlogistique de Stahl. Qu'on nous permette quelques citations; elles indiqueront les quelques velléités de révélation que l'on rencontre dans les auteurs, sur le rôle que jouo l'oxyde de carbone dans les travaux métallurgiques.

MM. Clément ot Désormes écrivent dans un mémoire (1) *Sur la réduction de l'oxyde blanc de zinc et sur le gaz oxyde de carbone qui s'en dégage :* « Le mercure volatilisé en contact avec le gaz n'a « rien produit; de l'oxyde rouge légèrement chauffé, a été un peu « réduit. »

M. Berthier publie (2) en 1814, dans un *Travail sur plusieurs moyens imaginés pour employer la flamme perdue des hauts fourneaux*, etc. : « On sait que les gaz qui sortent du gueulard des « hauts fourneaux, ordinairement transparents et incolores, et « qu'on avait crus pendant longtemps ne contenir que de l'eau et « de l'acide carbonique, sont en grande partie composés d'oxyde de « carbone et d'hydrogène carboné, et par conséquent éminemment « combustibles. Ils se forment au milieu des charbons embrasés que « traversent les courants incandescents lorsque ceux-ci ne contien- « nent plus assez d'air pour opérer la combustion. »

Dans son *Système de chimie* (3), publié en 1817, M. Thomson, rappelant l'expérience quo nous avons rapportée plus haut, dit : « Clément et Désormes assurent qu'en faisant passer de l'oxyde de « carbono chaud sur de l'oxyde rouge de mercure, il se produit un « commencement de réduction. Il est en effet très-vraisemblable « qu'on lui reconnaîtra la faculté de réduire plusieurs oxydes

(1) *Ann. de chimie*, t. XXXIX, p. 26.

(2) *Journal des mines*, t. XXXV, p. 375.

(3) *Système de chimie*, par Th. Thomson, 5e édit. de 1817; traduction française de Riffault, t. II, p. 30.

« métalliques, spécialement ceux qui cèdent facilement leur oxy-
« gène. »

Ces indications, timides il est vrai, ne mirent pas en lumière tout d'abord les propriétés qu'elles promettaient; on ne se douta pas du parti qu'on en pouvait tirer. Ce n'est qu'en 1825 que, pour la première fois, M. Lesoinne proclama, dans son cours de métallurgie à l'université de Liége, l'oxyde de carbone réducteur des minerais dans les hauts fourneaux. A côté du plaisir que nous avons à mentionner ce fait, il nous faut malheureusement placer un regret : le savant professeur belge n'a publié, croyons-nous, l'important résultat de ses études et de ses observations, nulle part ailleurs que parmi ses disciples, dont le souvenir est, du reste, un acte de propriété pour notre compatriote; de sorte qu'il y a, dans tout ce qui a été écrit d'erroné à ce sujet à partir de cette époque, une sorte de reproche à l'adresse de celui qui a jeté les fondements de la vraie théorie.

Donc, pendant plusieurs années, après 1825, l'oxyde de carbone ne fut pas considéré dans les écrits sur la matière, comme l'agent le plus important des fourneaux à courant d'air forcé, de la cémentation et d'autres faits qui s'y rattachent, ainsi qu'on le verra dans les citations suivantes, que nous placerons dans leur ordre chronologique.

En 1827, Karsten écrit (1) les lignes suivantes : « La réduction
« des oxydes de fer commence déjà à une faible chaleur rouge... La
« désoxydation se prolonge de la surface vers le centre, elle peut
« s'achever bien avant que le fragment n'ait changé de forme. Ainsi
« l'effet du carbone s'étend d'une manière *inconcevable* à travers
« toute la masse de l'oxyde; le métal réduit devient lui-même
« l'agent qui achève l'opération, comme il en arrive dans la réduc-
« tion d'un sel par la voie humide. Dans l'un des cas c'est l'eau,
« dans l'autre c'est le calorique qui établit la liaison entre le réactif
« et la substance soumise au traitement. » La cémentation était un mystère et l'on voit les erreurs qu'elle traînait à sa suite.

Dans son *Traité de chimie,* édition de Paris de 1831, M. Berzélius,

(1) *Manuel de la métallurgie du fer*, 2e éd., Berlin, 1827; traduction de Culmann, Metz, 1830, t. I, p. 238

à propos de la fabrication de la fonte, cite l'opinion de M. Sefstrom sur la réduction des minerais par l'oxyde de carbone ; néanmoins, M. Berthier, dans son *Traité des essais par la voie sèche,* publié en 1834, ne mentionne nullement ce gaz parmi les agents réducteurs, au milieu desquels on remarque cependant l'acide oxalique. D'un autre côté, on peut lire (1), dans le même ouvrage, ces mots : « La combi-« naison par voie de cémentation est un phénomène général d'un « grand intérêt et qui mériterait d'attirer toute l'attention des chi-« mistes philosophes. On ignore comment se phénomène s'opère. »

Enfin, et comme dernière étape jusqu'au travail de M. Le Play, voici ce que Berthier écrivait, en 1835, dans un mémoire (2) *Sur l'emploi des combustibles dans les hauts fourneaux :* « La consomma-« tion du combustible dans ces appareils provient : 1° de l'action de « la chaleur qui dégage du combustible employé les matières vola-« tiles de toute nature qu'il contient ; 2° de l'action de l'oxyde de fer « sur l'hydrogène et le carbone qu'il brûle en se réduisant ; 3° et « enfin, de l'action dissolvante exercée sur le charbon fortement « échauffé par l'acide carbonique, qui, près de la tuyère, a remplacé « l'oxygène de l'air, action qui donne naissance à une proportion « assez considérable, à ce qu'il paraît, d'oxyde de carbone. »

Les choses en étaient là, lorsque M. Le Play publia (3), en 1836, quelques idées qu'il développa (4) en théorie presque complète en 1841. Nous disons presque complète, parce que, si l'œuvre de la réduction s'y trouve péremptoirement expliquée, il n'en est pas de même pour la carburation qui reste encore dans les nuages de la spéculation. A ce sujet, nous tenterons un effort pour découvrir ce qui se passe dans cette phase de l'opération, en envisageant un agent qui, jusqu'ici, a été peu considéré.

Avant d'appliquer aux foyers catalans la théorie de la réduction dans les fourneaux à courant d'air forcé, nous exposerons celle de la cémentation qui en est comme l'élément, à quelques circonstances

(1) *Traité des essais par la voie sèche,* t. I, p. 36.

(2) *Annales de chimie et de physique,* t. LIX, p. 274

(3) *Ibid.,* t. LXV, p. 403.

(4) *Annales des mines,* 3e sér., t. XIX p. 267

accessoires près. Ainsi qu'on va le voir, l'obscurité qui enveloppait ce phénomène se dissipe complétement par l'intervention de l'oxyde de carbone.

Il a été établi (1), par des expériences directes, que ce gaz réduit tous les corps oxydés réputés réductibles par son radical. Partant de là, et tout en se rappelant l'aphorisme relatif à la nécessité qu'un des réactifs soit fluide, on ne saurait encore comprendre qu'un fragment d'oxyde de fer, placé au centre d'une brasque, puisse se réduire à l'aide d'une haute température, attendu que les deux corps en présence sont fixes, si on omettait de considérer que l'appareil a été préparé dans l'air atmosphérique et qu'en vertu surtout de la faculté dont jouit le charbon d'absorber les gaz, il est impossible que quelque particule de ce mélange ne se trouve pas emprisonnée dans la masse. Or, une seule molécule d'oxygène suffirait pour expliquer la réaction ; de sorte que, pour nous servir d'une comparaison de M. Le Play, la difficulté qui jusqu'ici avait fait obstacle à la science, revient à celle qu'offrirait la préparation de l'hydrogène, si les chimistes, n'ayant à leur disposition que des vases en zinc pour contenir les liquides, et pouvant par conséquent préparer l'hydrogène en introduisant dans un pareil vase un mélange d'eau et d'acide sulfurique, avaient négligé, dans l'explication du phénomène, le concours de l'enveloppe métallique.

Dans les circonstances qui nous occupent, l'oxygène de l'air renfermé dans la brasque, se combine au charbon en excès pour former de l'oxyde de carbone ; celui-ci, usant de sa propriété désoxydante, réduit de l'oxyde de fer et passe à l'état d'acide carbonique qui, empruntant à son tour du carbone à la brasque, reconstitue le gaz réducteur en en doublant la quantité et en établissant un vrai jeu de navette. Quant aux forces qui déterminent ce va et vient, elles peuvent dépendre soit de la différence de température des diverses parties de l'enceinte, soit des ébranlements qui résultent de l'action chimique elle-même. Lorsque l'enveloppe du fragment ferreux aura perdu de son oxygène, sa constitution physique sera notable-

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. LXV, p. 412.

ment altérée, et dès lors elle ne soustraira pas plus les régions intérieures à l'action du réducteur qu'une dentelle ne soustrait un corps aux regards qui le cherchent.

Ainsi expliquée, la cémentation cesse d'être une particularité anomale et rentre sous l'empire des lois ordinaires de la chimie. Il ne reste plus, pour compléter cette théorie, qu'à faire connaître une circonstance remarquable qu'offre le phénomène. Dans la cémentation, le fragment de peroxyde de fer se transforme d'abord en totalité en oxyde magnétique, avant qu'il ne se forme, même à la surface du fragment, la moindre trace de fer métallique, et ce n'est seulement qu'après cette première métamorphose que la réduction procède graduellement de l'enveloppe vers le centre.

Pour expliquer cette circonstance, il faut se rappeler deux faits qui sont de notoriété : 1° le fer est oxydable par l'acide carbonique, à la température où l'oxyde de carbone réduit ses oxydes ; 2° l'oxyde de carbone, ayant la propriété de réduire un oxyde métallique, voit sa puissance réductive d'autant plus diminuée, qu'il se trouve mêlé avec une plus grande quantité d'acide carbonique et que l'oxyde à réduire est plus stable ; en d'autres termes, pour les corps réputés réductibles par l'oxyde de carbone, il existe un mélange de ce gaz et d'acide carbonique qui est sans action, mais qui en acquiert immédiatement si la proportion d'oxyde de carbone vient à augmenter : cette sorte de limite est une conséquence de l'affinité qui unit le radical et l'oxygène. Or, la quantité relative d'oxyde carbonique qui entre dans le mélange limite, correspondant au peroxyde de fer, étant beaucoup plus faible que celle qui entre dans le mélange limite, correspondant à l'oxyde magnétique, il s'ensuit d'abord que le peroxyde sera réduit avant que l'oxyde magnétique puisse l'être ; en outre, le mouvement oscillatoire de l'oxyde de carbone qui va vers le corps à réduire et celui de l'acide carbonique qui en vient, opérant le mélange de ces gaz, empêchera, comme nous allons l'établir, qu'il ne se forme une quantité d'oxyde de carbone telle que le mélange puisse réduire l'oxyde magnétique. En effet, aussitôt que la limite de neutralité correspondant au peroxyde est dépassée, sa réduction commence ; mais quel est le résultat de

cette réduction? de l'acide carbonique, c'est-à-dire le corps dont la présence tend à affaiblir le pouvoir réducteur du mélange. Mais si, d'aventure, par des circonstances fortuites, il se produisait instantanément une quantité suffisante d'oxyde de carbone pour faire dépasser au mélange gazeux la limite de neutralité de l'oxyde magnétique, nul doute qu'une partie de celui-ci ne se trouvât réduite; mais la conséquence de cette réduction sera encore une production d'acide carbonique qui, lorsque les choses reprendront leur cours normal, hâtera la réformation d'un mélange où il se trouvera en assez grande proportion pour oxyder le fer régénéré pendant quelques instants, lequel, par suite, redeviendra oxydo magnétique. Dans la nature même du phénomène de la cémentation, se trouve donc une sorte de régulateur de l'état du mélange qui, forcément, établira autant de phases dans l'opération qu'il peut se produire de degrés d'oxydation de plus en plus stables, depuis le suroxyde jusqu'au radical.

La masse étant amenée à l'état d'oxyde magnétique, se réduira graduellement de la surface au centre, attendu que, depuis le peroxyde jusqu'au fer, il n'y a d'oxyde stable que l'oxyde magnétique.

L'action du carbone serait complétement dévoilée, si nous pouvions indiquer comment il se conduit dans la carburation. Les prémisses que nous avons posées relativement à la fluidité de l'agent réducteur subsistent encore pour l'agent carburant, et, chose remarquable, les conséquences de ce principe sont même admises depuis longtemps dans les arts, car, comme le fait remarquer M. Laurent, dans les fourneaux de cémentation pour la fabrication de l'acier, on a soin de ne pas placer les barres de fer dans du charbon divisé, ce qui serait cependant avantageux, si le contact était nécessaire. Or il est impossible de supposer que, lorsqu'une barre de fer est en contact avec des morceaux de charbon, par un nombre infiniment petit de points de sa surface, c'est par ceux-ci que filtre tout le charbon qui doit se répandre en tout sens dans la barre. Un autre fait à l'appui de la fluidité du carburant est celui-ci : un échantillon de mine de fer siliceux, retiré par la tuyère d'un haut fourneau, a été trouvé converti en grenailles de fonte, sans qu'il ait changé de forme. Les grenailles étaient séparées les unes des autres par de la

silice, le transport du charbon n'avait donc pu se faire par cémentation, c'est-à-dire de molécule à molécule. Une nouvelle preuve se trouverait dans la carburation du fer aux foyers catalans, où le minerai est séparé du combustible. Enfin, les expériences de M. Laurent (1) ne peuvent pas laisser de doute sur l'existence d'un agent gazeux carburant dans les fourneaux d'usine.

Mais quel est ce gaz?

Ceux dont on a discuté l'intervention possible, sont l'hydrogène carboné et l'oxyde de carbone : « Ce sont, dit M. Le Play, les seuls gaz carburés, non oxydants, qui puissent se trouver en présence du fer, dans les appareils de l'industrie. »

L'examen met bientôt à l'écart l'hydrogène carboné, par le motif, d'abord, que ce gaz ne pourrait provenir, dans les caisses de cémentation, que de la distillation du charbon de bois; ensuite, qu'il se décompose à une haute température et qu'il est difficile de concevoir comment il pourrait même en rester des traces dans les caisses de cémentation, après quinze jours de feu soutenu, et à la température du ramollissement de l'acier. Dans les hauts fourneaux, d'autre part, le charbon, quand il parvient dans la zone de combustion, ne doit retenir que des traces de matières volatiles. On ne peut donc attribuer la carburation à la présence du carbure hydrique. Quant à l'oxyde de carbone, il résulte d'expériences que, lorsqu'on prépare ce gaz par voie sèche, c'est-à-dire par la réaction de l'oxygène sur le carbone en excès à une haute température, le gaz est toujours carburant. « Il est impossible, dit M. Le Play, d'affirmer que la carburation n'est pas due, en cette circonstance, à une trace d'hydrogène carboné. » Le même auteur a préparé le gaz par la voie humide, d'après le procédé de M. Dumas, et, par conséquent, sans y introduire les substances gazeuses que le charbon le mieux calciné pourrait encore dégager, et il n'a pu, malgré les précautions les plus minutieuses, obtenir même une trace de carburation.

Malgré ces observations, M. Le Play croit qu'on ne peut en tirer la conclusion que l'oxyde de carbone ne carbure pas le fer métal-

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. LXV, p. 417.

lique, vu qu'il est impossible d'affirmer que la propriété carburante de ce gaz n'est pas neutralisée, dans le gaz préparé par voie humide, par une trace d'acide carbonique ou de vapeur d'eau. Il suspend donc tout jugement et prend le parti de rester dans le doute.

Nous avouons que nous ne parvenons pas à nous rendre bien compte du doute que le savant français à cru devoir exprimer. Concédons en effet, pour un instant, que l'oxyde de carbone soit un carburant, c'est-à-dire supposons que l'ordre des affinités du charbon pour l'oxygène et le fer ait été renversé et oublions que l'acide carbonique oxyde le fer; mais si, dans un laboratoire, malgré les précautions les plus minutieuses, l'oxyde de carbone n'a pu carburer, à cause, dit-on, de traces de vapeur d'eau et d'acide carbonique, comment entendrait-on ce faire un carburant dans un haut fourneau, par exemple, où il y a plusieurs sources de vapeur d'eau et des flots d'acide carbonique? Les expériences de M. Le Play et les considérations que nous venons d'exposer nous engagent à rejeter définitivement l'oxyde de carbone comme carburant dans les fourneaux de l'industrie.

Dans son *Essai sur l'élaboration du minerai de fer dans le traitement à la catalane* (1), M. François attribue la carburation, dans les foyers catalans, à des particules très-fines de charbon, qui seraient entraînées mécaniquement par le courant gazeux qui traverse le foyer. Cette hypothèse, maintenant la solidité du réactif, est contraire à ce que nous avons admis au début de cette discussion.

Il nous reste maintenant à examiner le travail de M. Laurent (2), concluant à admettre la volatilité du carbone comme cause de la carburation. Et d'abord, y a-t-il lieu de croire que le carbone, volatilisé, dans les expériences de M. Despretz, par l'action de forces exceptionnelles, se trouve, dans les appareils des usines dans des conditions qui puissent déterminer son changement d'état moléculaire? *A priori*, nous ne le croyons pas : le carbone a trop de permanence dans sa solidité.

(1) *Annales des mines*, 3e sér., t. XIII, p. 562, 1838.
(2) *Annales de chimie et de physique*, t. LXV, p. 417.

M. Laurent, dans les expériences variées qu'il a faites aux fours à porcelaine de la manufacture de Sèvres, n'a obtenu qu'uno carburation très-faible dans des lames de fer, tenues à distance du charbon avec lequel elles étaient placées dans un tube. Néanmoins, conclut cet auteur, le carbone a dû se volatiliser, pour s'unir au métal qui s'en trouvait séparé dans l'appareil. Remarquons d'abord que la volatilité du carbone ainsi avancée, n'est quo spéculative, et que, s'il était avancé, spéculativement aussi, qu'un gaz carburant a pu se trouver là où M. Laurent a admis l'existence de vapeurs de carbone, cetto existence serait très-compromise.

Les notions acceptées par les chimistes sur la fixité de ce corps, nous ont mené à rechercher s'il ne serait pas possible qu'il existât, partout où il y a carburation, un agent gazeux capable de cet effet et qui, jusqu'ici, n'aurait guère attiré l'attention. Nous allons exposer quelques considérations conjecturales à ce sujet.

Dans l'étude de la métallurgio, où on se heurte encore à tant de questions sans solution, un des faits qui nous ont le plus vivement frappé, c'est l'ignorance complète dans laquelle on se trouve, à l'égard de la fonction que les cendres do bois et le sel marin remplissent dans la cémentation des barres de fer. Les réactions des éléments en présence sont cependant parfaitement connues. Suivant Réaumur, le meilleur cément se compose de : deux parties de suie de bois, une de charbon concassé, une de cendre et une demi à trois quarts de sel marin.

Pourquoi encore le charbon qui a servi une fois, ne peut-il plus être employé ? Si c'est le charbon qui carburait la première fois, pourquoi ne carburerait-il pas la seconde fois ?

La similitude des corps en jeu dans cette opération et de ceux qui servent aux fabrications anglaises des cyanures alcalins, jointe à cette circonstance que ces cyanures sont de vrais carburants, nous ont conduit à rechercher quel pourrait être le rôle de ces cyanures dans plusieurs appareils.

Les exigences du concours no nous ayant pas permis d'entreprendre des expériences relativement à quelques vues qui nous sont

personnelles, nous les déclarons donc humblement conjecturales, mais nous allons essayer de les étayer de quelques faits connus.

Et d'abord, la présence des cyanures alcalins a-t-elle été constatée dans les fourneaux d'usine?

Voici des réponses.

En 1837, M. le docteur Clarke publie (1) une note d'où il résulte que « dans les hauts fourneaux de la Clyde, en Écosse, il s'écoule, « par la partie inférieure, à travers les fentes accidentelles, un « liquide incolore qui se prend en masse solide, blanche et opaque, « par le refroidissement. Cette substance est assez abondante pour « qu'on doive l'enlever à la brouette, et elle paraît se produire dans « tous les hauts fourneaux de l'Écosse que l'on chauffe à la houille.

« Elle est composée de carbonate de potasse et de cyanure de « potassium à peu près en parties égales. »

Les ouvriers des usines de la Clyde recueillent, dit-on, cette substance qui, traitée par la chaux, leur fournit une lessive pour leur ménage.

En 1842, on a remarqué la production du cyanure de potassium, au haut fourneau au charbon de bois de Maria-Zell, en Styrie, dans les portions du fourneau voisines de la tuyère.

Le même corps a été reconnu (2), en 1845, par MM. Bunsen et Plaifair, au haut fourneau d'Alfreton, qui marche à la houille et à l'air chaud.

M. Ebelmen, il est vrai, n'a pas trouvé ce corps dans de nombreuses analyses de gaz de hauts fourneaux, pris à toute profondeur; mais il est permis de supposer que c'est uniquement parce qu'il essayait de doser le cyanogène qu'il recherchait, au moyen d'une diminution de volume de la potasse. Du reste, il est incontestable aujourd'hui que le cyanure de potassium existe dans les hauts fourneaux. Cherchons à connaître comment il s'y conduit. Sa formation provient de ces faits : l'air atmosphérique, dépouillé d'oxygène dans les régions inférieures du fourneau, livre son azote aux matières

(1) *Phil. mag.*, mai 1837. — *Annales des mines*, 3e sér., t. XIII, p. 638.

(2) *Report of the Britisch Association for the advancement of science for* 1845, p. 142. — *Annales des mines*, 4e sér., t. XIX, p. 102.

alcalines et au carbone qu'il rencontre et constitue, avec eux, le cyanure de potassium. Ce corps est notoirement un agent réducteur, et MM. Bunsen et Plaifair lui attribuent l'action que voici : « Le « cyanure de potassium est volatil à de hautes températures. Arrivé « dans la région du haut fourneau où se fait la réduction, il exerce « son action connue comme agent de réduction, se résout en azote, « en acide carbonique et en carbonate de potasse, dont les pre- « miers sont évacués par le gueulard, tandis que le dernier redes- « cend avec les charges au point où il peut se transformer de « nouveau en cyanure de potassium, et, de cette manière, une « quantité assez notable de minerai se trouve réduite par une pro- « portion relativement faible de cyanure de potassium, constamment « régénérée dans les parties basses du fourneau. »

Voilà une théorie complète, mais il y a peut-être là matière à controverse.

En effet, dans les hauts fourneaux, où trouve-t-on le cyanogène? MM. Bunsen et Plaifair eux-mêmes, dans les analyses qu'ils ont faites des gaz du haut fourneau d'Alfreton, ne l'ont rencontré, en quantité dosable, qu'à six pieds anglais de la sole, c'est-à-dire, qu'à la hauteur des tuyères à peu près. Où trouve-t-on le cyanure potassique? Également dans les parties basses du fourneau : probablement dans les régions où la chaleur est la plus forte, car cela doit être une circonstance favorable à sa formation. Cela étant, le cyanure de potassium sera-t-il simplement un désoxydant, comme le disent MM. Bunsen et Plaifair? Il en a les propriétés; mais, dans le haut fourneau, joue-t-il ce rôle? Nous ne le pensons pas, et voici nos raisons.

Dans la zone où on le rencontre, le fer doit être revivifié, ou du moins le minerai doit être presqu'entièrement réduit, à la haute température locale. Le cyanure alcalin agira donc sur le fer, ou sur un peu d'oxyde de fer, c'est-à-dire qu'il agira plutôt comme carburant que comme désoxydant. Quant à savoir si la proportion qu'en contient le haut fourneau est suffisante pour carburer la masse de fer que digère cet appareil, il nous semble que les propriétés chimiques

répondent suffisamment. En effet, on lit dans Berthier (1) : « On « obtient les cyanures doubles en chauffant au rouge un mélange « de charbon animal avec du carbonate de potasse ou de soude, et « le métal que l'on veut introduire dans la combinaison ou même « l'oxyde de ce métal, lorsqu'il est facilement réductible. » Or, en présence de la grande quantité d'azote et de charbon qui se trouve dans le fourneau, en présence du cyanure de potassium qui, par volatilité, s'est élevé jusqu'aux charges les plus proches du creuset, en présence enfin du fer ou de l'oxyde de fer qu'il y rencontre, il faut conclure, d'après Berthier, qu'il se forme dans cette région un cyanure double de potassium et de fer.

Ce dernier corps est stable jusqu'à une certaine température : il descendra donc, sans s'altérer pendant un certain temps, avec la charge qui le contient ; mais, ressentant enfin les effets d'une température qui s'élève de plus en plus, il subira la transformation que rapportent, en ces termes, tous les livres de chimie : « Calcinés à « l'abri du contact de l'air, les cyanures doubles de fer et de métal « alcalin, se décomposent en azote, en cyanure alcalin simple et en « carbure de fer. Si la décomposition avait lieu au contact de l'air, « le carbone du cyanure serait brûlé. »

Comme conséquence de cette réaction, le cyanure de potassium, en liberté, s'élèvera de nouveau, reconstituera, dans les charges supérieures, le cyanure double qui, en descendant, donnera naissance à une nouvelle quantité de carbure de fer ; de sorte qu'une faible quantité de cyanure simple deviendra capable de carburer une masse relativement considérable de fer.

On pourrait objecter que, tout en supposant l'existence d'une quantité notable de cyanure alcalin, tout en acceptant sa fonction carburante, il est difficile d'admettre que cette quantité est suffisante pour faire passer à l'état de carbure, selon la réaction énoncée plus haut, tout le fer d'une charge. A cela, l'on peut répondre qu'il n'est pas nécessaire, pour obtenir ce résultat, que chaque grain ferreux soit carburé jusqu'au cœur ; en effet, si sa surface seulement est à

(1) Berthier, t. I, p. 529.

l'état de carbure, celui-ci, sous l'influence de la chaleur, se liquéfiera, et, dans cet état, il sera capable de réagir sur le centre du grain resté fer, de le dissoudre entièrement, en le transformant en fonte.

Ainsi donc, en partant des propriétés chimiques des corps qui se rencontrent dans le haut fourneau, on peut arriver à cette conclusion : que le cyanure de potassium y est le principal agent de carburation.

Tout cela est spéculatif, et nous savons que, justement à cause de ce caractère, il ne peut suffire qu'une théorie explique les circonstances d'où elle est née, il faut encore qu'elle soit corroborée par d'autres faits. Peut-être cette exigence trouvera-t-elle quelque satisfaction dans les considérations qui suivent.

En admettant l'hypothèse qui vient d'être posée, on doit attribuer aux matières alcalines que renferment les fours de cémentation, une action déterminante dans la formation du cyanure potassique. D'un autre côté, la même supposition rend compréhensible que le charbon, dans lequel ont été épuisés les éléments qui, indirectement, amènent la carburation, ait perdu toute vertu pour produire ce résultat, et, par conséquent, soit impropre à être employé au même usage.

On parvient de même à s'expliquer comment il se fait que le fer des forges catalanes soit aciéroux, alors que, cependant, une faible partie du minerai se trouve en contact avec le charbon, car on peut admettre que les cendres de bois donnent naissance au carburant et que celui-ci vient baigner le pied du tas de minerai. Ainsi s'explique également pourquoi le tas doit être plus allongé dans le foyer, quand on travaille pour acier.

Quant aux expériences que M. Laurent a faites à la manufacture de Sèvres, elles ne peuvent conduire à admettre la volatilité du carbone, et, entre autres raisons déjà énoncées, parce que les marques de carburation constatées sont réellement trop insignifiantes. En effet, ce chimiste en signale des traces s'élevant à 0,004, sans dire combien en contenait le fer qui a servi à l'expérience, et on sait que des fers très-ductiles peuvent contenir 0,0025 de car-

bone. D'un autre côté, en tenant compte de la composition des matières du tube dans lequel on a opéré, et en vérifiant bien les cendres du charbon employé, il ne serait peut-être pas impossible d'expliquer la très-faible carburation produite, comme nous l'avons fait pour les autres phénomènes précités.

Les questions intéressantes dont nous venons de nous occuper si longuement, doivent recevoir leur application à notre sujet.

Ce qui se passe dans un foyer catalan n'est évidemment pas identique avec les phénomènes de réduction que l'on a analysés dans un creuset brasqué. Ceux-ci nous ont fait connaître l'action intime de l'oxyde de carbone sur le minerai ; mais, dans un foyer d'élaboration, les agents gazeux ne sont pas enfermés dans un espace limité : ils naissent de l'union de l'air insufflé par les tuyères avec le charbon, à la faveur d'une haute température entretenue elle-même par la formation de ces gaz. Ceux-ci, par suite des dispositions prises par les ouvriers dans le chargement, n'ont qu'une seule voie de dégagement : ils se dirigent forcément vers la masse de minerai, qu'ils traversent totalement de bas en haut. Là, ils agissent chimiquement et, en accomplissant cette œuvre, ils changent de nature, ils s'élèvent et utilisent leur chaleur en préparant la partie supérieure du minerai à l'élaboration, puis ils se perdent enfin en sortant du foyer.

Quant à l'agent carburant, il est probable que la chaleur du foyer ne peut amener une volatilisation suffisante pour qu'il se porte dans la masse minérale, et il peut paraître plus convenable de supposer qu'il n'agit que sur le pied du tas.

Méthode corse.

Dans l'île de Corse, on traite le minerai de l'île d'Elbe. Le foyer dont on fait usage n'a à demeure que la varme et le laiterol ; les autres parois sont chaque fois à refaire. Le fond, formé d'une pierre plane, est recouvert d'une brasque fort épaisse *aa* (fig. 14 et 15) qui s'élève latéralement, de façon à commencer les parois qui manquent. On établit, à partir de ce fond, une sorte de cloison qui, en projection horizontale, affecte la forme d'un U dont les jambes seraient perpen-

diculaires à la varme et dont la courbe enfermerait la tuyère Cette cloison est composée de gros morceaux de charbon de bois *b*, *b*, mesurant en longueur 0m,16 environ. A mesure qu'on s'élève, on les place en retrait les uns sur les autres, de façon à évaser l'espèce de puits qu'ils forment autour do la tuyère, et cela afin que le mur qu'ils constituent présente plus de résistance à la pression du minerai que l'on doit placer en dehors La hauteur de co mur, en charbon, est de 0m,75 ; l'espace *c*, qu'il enclôt, est rempli de combustible. Entre la paroi relevée du bassin de brasque et la face extérieure du puits, il reste un intervalle destiné à recevoir le minerai grillé et concassé. On le répartit dans trois cases *d*, *d*, *d*, formées par deux cloisons verticales, en gros charbons placés horizontalement les uns au-dessus des autres. Ces cloisons sont élevées en même temps que les parois du puits.

Le minerai en fragments ayant été versé avec précaution dans chacune des cases, on le recouvre d'une couche de brasque que l'on tasse avec soin. Au-dessus de ce premier étage, dont la hauteur est de 0m,40, on en dispose un second, et voici comment. La paroi de brasque, qui sert de contrevent, ne s'élève pas plus haut : il faut donc, pour soutenir le minerai dans les cases, en former une autre ; à cet effet, on place, à partir du sol, de gros blocs de fer oligiste, auxquels on en superpose d'autres de moindre volume, jusqu'au niveau du bassin de brasque. Sur cette sorte de fondation et sur le mur de chio, on élève une muraille sèche avec les morceaux qui doivent être cassés et servir à la prochaine opération ; dans cette position, ils subissent un grillage. Le mur de clôture du foyer étant ainsi constitué, on remplit le vide qu'il détermine, do minerai en fragments que l'on recouvre d'une couche de brasque, ainsi qu'on l'avait fait pour le premier chargement. Dès lors, l'opération peut marcher.

Pour mettre à feu, on jette au fond du puits quelques charbons embrasés que l'on recouvre de charbons noirs et on donne le vent. L'oxyde de carbone passe, pour atteindre le minerai, par les espèces de canaux normaux que les éléments de la cloison d'enceinte laissent entre eux et entre les assises successives. Aussitôt que les gaz combustibles se dégagent du tas, on les enflamme ; leur aspect indique alors aux ouvriers la marche de l'élaboration.

La première partie de l'opération n'a pour but que d'agglutiner le minerai, de le faire *cuire*, comme disent les ouvriers. Lorsqu'on en est arrivé là, on démolit toute la construction. Les ouvriers retirent d'abord les blocs d'oligiste qui en formaient la base, le mur extérieur s'affaisse doucement et ses débris sont portés au cassage pour servir au fondage suivant. Pendant ce temps, on refroidit le foyer en l'arrosant d'eau. Ensuite, l'ouvrier, à l'aide d'une pelle courbe, enlève la brasque dans laquelle se trouve des morceaux de minerai non agglomérés et l'étend sur un lit de scories que l'on a préparé sur l'aire ; il divise ce tas en cinq parties, et sur chacune d'elles il dépose la cinquième partie du minerai agglutiné qui se trouve autour du puits de charbon. Chacun de ces cinq petits tas est destiné à donner un masset par l'affinage.

On réunit les gros morceaux de charbon et on les éteints par l'eau. Une chose digne de remarque, c'est que ces morceaux, malgré la chaleur, malgré la quantité d'air lancé, se conservent très-bien pendant toute l'opération : c'est là une preuve convaincante que la cloison, et par suite le minerai, se trouve en entier dans une atmosphère d'oxyde de carbone qui constitue la zone de réduction.

Après cette première période, le minerai se trouve dans l'état d'élaboration décrit dans la méthode précédente, à propos du second noyau dont la cassure a été analysée : les fragments contiennent déjà du fer métallique.

Pour achever l'affinage, on construit le foyer dans des dispositions tout à fait nouvelles. On y jette de la brasque, avec laquelle on forme deux plans inclinés se réunissant en gouttière et dont la ligne d'intersection est horizontale, perpendiculaire à la varme et inférieure à la tuyère. Ces plans inclinés s'élèvent à la hauteur du petit mur de chio. On entoure la tuyère de charbons rouges et l'on charge en charbon frais, de façon que le masset qui reste à forger de l'opération précédente, y étant placé, se trouve au-dessus de la tuyère. Ce masset est soudé à l'extrémité d'un ringard qui aide à le retourner dans le foyer.

Pour procéder à l'affinage, on charge au milieu du feu un des cinq petits tas composé, comme on l'a dit, de brasque, de minerai

non aggloméré et de scories ; on y ajoute des battitures provenant du forgeage précédent. L'affinage s'opère de lui-même pendant que l'on s'occupe de l'étirage. Au bout d'une heure et demie, on fait écouler les scories. On place alors en avant du foyer et à peu près à la hauteur de la tuyère, la moitié du minerai agglutiné qui accompagnait le tas déjà chargé. Quand ce minerai est assez échauffé, on le pousse vers le centre. Exposé là à une forte chaleur, il se ramollit et finit par descendre goutte à goutte sous le vent, par suite de la combustion du charbon inférieur ; il se réunit ainsi au minerai qui l'avait précédé. On charge ensuite la seconde moitié du minerai agglutiné et on ajoute de temps en temps des scories douces. L'élaboration est la même que celle que nous avons décrite : le masset se forme par la réunion des rudiments, ferreux que fournissent les noyaux. On jette des battitures afin de compléter autant que possible la décarburation. Quelques minutes après, on arrête le vent, on arrose, on soulève la masse de fer, on l'éloigne du foyer, on en détache les scories qui y adhèrent et on y soude un ringard pour la travailler au marteau. On recommence ensuite avec un second cinquième de la masse.

Le fer est réchauffé dans le foyer même ou dans un feu à part.

Avec chaque cinquième de la charge primitive, on fait quatre barres. Le grillage, les cinq affinages et la formation des vingt barres exigent vingt-quatre heures. Le minerai si riche de l'île d'Elbe ne donne que 38 pour 100 de fer, et en poids, 1 de fer consomme à peu près 9 de charbon. De tels chiffres disent assez que le procédé de Corse est le plus mauvais de tous. Le fer en est très-bon, il est ductile et nerveux, se forge bien à froid et à chaud, se laisse percer sans bavures et peut être employé pour les outils d'agriculture.

Méthode catalano-ligurienne.

En Ligurie, dans les provinces de Gênes, de Savone et d'Albenga, on emploie une modification de la méthode catalane. L'ensemble de la forge est le même que dans les Pyrénées ; on y remarque que la cave et la paroi d'avant sont faites simplement en terre argileuse, que le côté des porges est formé de prismes en fonte et que le lai-

terol en fonte est fortement déversé et fait un angle obtus avec la face de tuyère.

On y traite, comme dans la méthode précédente, du minerai venant des mines de Rio, de la vieille fonte en morceaux et de la ferraille venant de l'étranger.

Voici comment on travaille l'affinage :

On remplit le creuset de charbons frais dans lesquels on pratique une cavité circulaire; on charge dans cette cavité du minerai en morceaux, on y ajoute de la fonte que l'on recouvre encore de quelques pelletées de minerai, on place sur le tout un peu de charbon, puis des battitures.

Les grillage des gros morceaux de minerai s'opère près de la cave.

On donne le vent, et tout en chargeant en charbons, on ajoute des crasses de marteau qui doivent donner le principe du masset. En conduisant l'opération comme à l'ordinaire, on produit l'élaboration du minerai et l'agglutination des fragments. Des ouvriers exercés savent juger, à l'aspect des scories, de l'état de cuisson de la matière; lorsqu'il est convenable, on se prépare au travail : on découvre le minerai et, à l'aide d'un ringard, on en élève une partie au-dessus de la tuyère : dans ce moment, le vent est à son *maximum* de pression. La partie soulevée fond, traverse le charbon et les scories, et se réduit en fer. On agit de même pour le reste de la masse, en effectuant cinq ou six soulèvements partiels. Cela fait, on arrête le vent, on fait écouler les scories, on retourne la loupe découverte et l'on jette un peu d'eau dont le seul but, comme précédemment, est de refroidir le foyer, dont la chaleur est incommodante. On extrait la loupe et on la forge; les deux lopins qui en proviennent sont réchauffés dans le même foyer que l'on a rempli de charbons.

Pendant ce réchauffage, on charge au-dessus et à droite, environ 24 kil. de grenailles de fer impur, 16 kil. de ferrailles et des croûtes ferreuses enlevées du foyer. Ces dernières ont surtout pour but de fournir les scories qui doivent préserver le lopin de l'action du vent. Pendant que le premier lopin s'échauffe, cette nouvelle charge s'agglomère; on la porte alors sur la tuyère, où elle entre en fusion

et d'où elle tombe pour aller former, au fond, une petite loupe que l'on enlève après le réchauffage et que l'on étire en une barre.

La charge d'une opération peut être représentée par :

	kil.
Minerai en morceaux	190,68
Id. en poudre	47,65
Ferraille	15,88
Fonte	23,82
Charbon.	428,81

On en retire, en général, 135 kil. de fer de bonne qualité.

Emploi de la flamme perdue des foyers catalans.

Ainsi que nous l'avons vu pour les hauts fourneaux, pour les fours à puddler et pour les foyers d'affinerio, on a utilisé également, aux forges de Tripalda et de Prato, en Toscane, les flammes perdues des foyers catalans.

A cet effet, on a construit, à l'usine de Prato, un four à réverbère placé parallèlement à la varme Au-dessus du creuset, se trouve une hotte qui amène la flamme sur la sole ; la flamme, après avoir léché celle-ci, se rend dans la cheminée, en traversant une petite grille sur laquelle on a disposé de gros morceaux de minerai pour en rendre le cassage plus aisé.

A l'usine do Tripalda, on a adopté une disposition préférable. On a placé le four dans la direction du vent de la tuyère, c'est-à-dire perpendiculairement au mur de varme ; par ce moyen, la flamme s'étend plus régulièrement.

Par une porte, on introduit les morceaux de minerai sur la grille qui se trouve dans la cheminée. Lorsqu'ils ont atteint une température suffisante, on les retire et on les jetto dans l'eau pour les étonner. Le minerai devient ainsi fragile et poreux, et se réduit facilement en fragments.

Le minerai est ensuite jeté sur la sole, par une porte qui se trouve sous la cheminée, à l'extrémité du four ; on l'étend uniformément sur la solo, qui a été préalablement recouverte d'une couche de charbon de 0^{m},10 d'épaisseur. Ce charbon a pour but d'opérer un commencement de réduction de la mine.

Après avoir laissé le minerai exposé à l'action de la flamme pendant la durée d'une opération, on y ajoute de 24 à 32 kil. de fonte et 16 kil. de ferraille; puis, au moyen d'un râble introduit par la porte, on pousse toute la charge dans le creuset, où elle est arrangée à la manière ordinaire.

Les avantages que l'on a recueillis de cette amélioration, consistent dans une économie de temps et de combustible, et dans une diminution de déchet.

Traitement dans les *stuckofen.*

Nous ne saurions affirmer qu'il existe encore des *stuckofen* dans la Thuringe, seule contrée d'où ils n'avaient pas disparu en 1842. Quoi qu'il en soit, ces fourneaux sont appelés à ne plus occuper de place que dans l'histoire de la métallurgie; nous nous dispenserons donc d'être minutieux à leur égard.

La hauteur des *stuckofen* varie de 3 à 5 mètres. Pour donner une idée de la silhouette de la cuve, nous dirons qu'elle est, en général, formée par deux troncs de cône accolés base à base, ou plutôt réunis par une portion de cylindre faisant grossièrement fonction de surface de raccordement et qui constitue le ventre du fourneau. Il est d'autres cuves qui vont s'élargissant depuis le gueulard jusqu'au bas; mais toujours la section du gueulard est plus petite que celle que donnerait une coupe horizontale à la hauteur des tuyères. Le diamètre de cette section varie de $0^m,80$ à $1^m,00$. La pierre du fond est légèrement inclinée vers le devant du fourneau.

La chemise du fourneau est en grès réfractaire; le vide de séparation avec la maçonnerie extérieure est comblé par des fragments de pierres réfractaires, de quartz, de morceaux de briques concassées.

Dans le Henneberg, on remarque que les creusets des *stuckofen* sont formés comme le sont ceux des *loeschfeuer*, c'est-à-dire avec de vieilles enclumes ou de vieux marteaux. Sur le devant du fourneau, une forte marâtre qui se trouve à la hauteur de la tuyère, supporte la maçonnerie et laisse sous elle un espace vide que l'on ferme, à chaque opération, par un petit mur construit en tuiles plates ou

bien en briquettes de scories recuites C'est par l'espace de 0^m,60 de côté que clôt ce mur, que l'on fait sortir la masse de fer de chaque travail.

Il est des fourneaux à masse qui n'ont qu'une embrasure : de sorte que la tuyère en argile ou en cuivre se trouve alors dans le mur postiche dont nous venons de parler, et l'on est forcé, dans cette circonstance, de la déranger chaque fois qu'on rebâtit cette cloison.

La campagne d'un *stuckofen* est ordinairement d'une semaine.

Pour commencer le travail, on remplit la cuve de charbon, on ferme le trou de coulée, on introduit le feu par la tuyère et l'on fait agir lentement les soufflets qu'on arrête aussitôt que le combustible est enflammé ; on laisse l'ignition se répandre graduellement. Lorsque le charbon s'embrase au gueulard, on souffle de nouveau et l'on commence à charger en minerai Les charges sont faibles d'abord ; elles sont stratifiées avec du charbon. Dans les fourneaux très-petits, on mélange quelquefois les matières. Le lit de fusion est composé de scories et de scories riches qui se détachent du marteau ; le minerai que l'on y ajoute est ordinairement du fer oxydé rouge : il n'y entre jamais pour plus d'un quart.

La réduction s'accomplit comme dans tous les fourneaux à courant d'air forcé, par l'oxyde de carbone.

Dès que le minerai se présente en gouttelettes devant la tuyère, on fait une percée pour l'écoulement du laitier. On tient cette percée constamment ouverte. Dans certaines localités, on ménage plusieurs ouvertures de coulée à différentes hauteurs et l'on remonte la tuyère à mesure que le fer s'accumule dans le fond du fourneau. Ce fer passe à travers les scories fluides et vient se rassembler sur la sole en une grosse masse appelée *stuck*.

Pour former un *stuck*, on compte ordinairement un certain nombre de charges, et lorsqu'elles ont passé au fourneau, on y ajoute deux charges vides, c'est-à-dire sans minerai : lorsque l'on voit arriver ces dernières devant la tuyère, on sait que l'opération est à sa fin. Dès lors, on renverse le petit mur qui fermait la poitrine du fourneau, on fait écouler entièrement le laitier, on soulève avec des ringards la loupe qui, débarrassée des scories durcies par lesquelles

elle adhérait aux parois du creuset, est saisie ensuite au moyen d'une grosse tenaille Celle-ci est munie d'une chaîne qui s'enroule sur l'arbre d'un cabestan : c'est par le mouvement de cette machine qu'on extrait la loupe.

D'ordinaire on donne de seize à vingt charges pour une loupe qui s'obtient en cinq ou six heures, et dont le poids est de 250 à 400 kil.

Au sortir du foyer, cette loupe est martelée, divisée en lopins qui sont forgés, si la qualité du fer le comporte.

La marche d'un *stuckofen* est très-irrégulière, et il en est de même de la qualité du produit. Tantôt le fer est assez cru pour se briser sous le marteau, et cela a lieu surtout si l'on a marché en allure chaude ; tantôt, et par une allure froide, le fer se trouve assez peu carburé pour que le forgeage seul en complète l'épuration : généralement, la masse est aciéreuse.

Dans le Henneberg, on la soumet à un affinage dans des *loeschfeuer*, ainsi que nous l'avons décrit, et alors le fer produit est de qualité supérieure. Du reste, ce n'est pas là le seul traitement auquel on a soumis les *stucks*. Lorsqu'il y avait encore des fourneaux à masse en Styrie et en Carinthie, pour les affiner, on chauffait fortement ces masses dans des feux particuliers garnis de brasque et dont le vent était presque horizontal. En la soumettant à une chaleur intense devant la tuyère, une partie du métal coulait au fond du creuset, perdait son carbone dans un bain de laitier riche et formait une loupe dont le fer était entièrement affiné. L'autre partie, qui restait entre les tenailles, donnait de l'acier.

Les *stuckofen*, qui étaient jadis en usage dans la Carniole, la Carinthie, la Styrie, la Hongrie et l'Allemagne méridionale, doivent être partout abandonnés, à cause de la grande consommation de combustible qu'ils occasionnent.

Traitement dans les bas fourneaux suédois.

Dans quelques localités de la Suède et de la Norwége, on voit traiter directement le minerai des prairies, après avoir été grillé en tas et ensuite bocardé.

Quelques-uns des fourneaux dont on fait usage ont 2m,20 de haut et sont évasés jusqu'à mesurer 1m,56 d'ouverture au gueulard. Ce sont de petits *stuckofen*. Les cuves sont en grès et souvent enveloppées de *pisé*. On communique au gueulard par une rampe.

Avant de travailler, on opère d'abord, dans ces mêmes fourneaux, la carbonisation du bois dont on va faire usage. Quand la température y est suffisamment élevée, on y passe des charges qui ne sont autre chose qu'une ou deux pelletées de minerai. On n'introduit une charge qu'après la descente de celle qui précède. Pendant la réduction, on fait souvent écouler les scories, et quand il y a assez de fer dans le creuset, on extrait la loupe comme on l'a vu dans le traitement au *stuckofen*.

On rencontre de ces fourneaux qui n'ont que de 1m,10 à 1m,25 de haut. Le traitement y est le même, seulement on en fait sortir la loupe par le gueulard, en la saisissant avec des tenailles.

Lorsque l'on obtient du fer dans ces fourneaux, il a tous les défauts des fers des *stuckofen*, et il puise en outre, dans la nature phosphoreuse du minerai, une cause d'aigreur de plus.

Traitement en Allemagne.

La forme du foyer est la seule différence entre la méthode des *stuckofen* et celle-ci, qui a été employée en Silésie et dans le Palatinat.

D'après M. Karsten, le creuset est composé de plaques en fonte ou formé d'une chaudière garnie intérieurement de briques réfractaires couvertes de brasque. La profondeur et le diamètre varient entre 0m,31 et 0m,52 ; la tuyère est horizontale.

On dessèche d'abord le creuset et on cherche à en couvrir les parois d'une couche de laitier produit par la fusion d'une mine très-fusible ; cela s'appelle *brûler le creuset*, parce que la brasque se trouve effectivement consumée et remplacée par une couche de scories et de parties métalliques.

Le travail marche comme précédemment. Plus l'élaboration est

lente, plus le fer obtenu y gagne ; il n'est jamais, du reste, d'excellente qualité.

Il peut arriver que l'on n'obtienne que des scories, lorsque la température est insuffisante. Si la loupe est impure, on la repasse aux *loeschfeuer*, comme on a fait du fer des *stuckofen*.

Traitement en Gallicie.

M. Karsten cite encore cette méthode qui a été usitée en Silésie et en dernier lieu dans la Gallicie orientale, où l'on pourrait la retrouver.

Le creuset est le même que dans le traitement précédent ; sa profondeur varie de $0^m,31$ à $0^m,38$; la tuyère est très-plongeante. Le minerai s'y trouve stratifié avec le combustible, et celui-ci est assez menu pour empêcher les matières non fondues de le traverser ; on forme même quelquefois, avec de l'eau, une pâte qu'on jette sur le charbon.

On ne charge en minerai que lorsque le foyer est rempli, pour la seconde fois, de charbon ; quand la matière métallique est au fond du creuset, le vent plongeant l'affine ; si l'affinage se fait difficilement, on prend le parti de faire écouler les scories, pour livrer plus directement la masse à l'action du vent.

Méthode de Perse.

M. Robertson (1) rapporte des détails sur une méthode employée à Caradogh, près de Tabrecz, en Perse, et qui présente des dispositions assez singulières pour mériter d'être mentionnée.

Le mines de Caradogh sont très-riches en oxyde magnétique ; leur exploitation, d'origine très-ancienne, est abandonnée à un véritable désordre. On n'en prend que la partie riche, le reste est jeté de côté. On mélange les diverses espèces. Le combustible est surtout l'essence de chêne, que l'on exploite par émondage et que l'on carbonise.

(1) *Annales des mines*, 3e sér., t. XVIII, p. 667.

On travaille sur une très-petite échelle. La forge se compose d'un foyer creusé dans l'argile du sol et ayant 0^{m},23 de profondeur sur 0^{m},35 de côté : c'est là que l'on dispose le minerai et le combustible pour l'élaboration. A côté, est une seconde cavité, plus profonde et de plus grandes dimensions, destinée à recevoir les scories qui s'écoule de la première ; on brûle, dans cette grande chambre, de la paille hachée pour accélérer le tirage de la cheminée qui se trouve à son extrémité. Ces chambres sont cloisonnées de larges pierres qui résistent au feu. Un soufflet ordinaire donne le vent ; la tuyère est en argile et résiste assez bien à la chaleur ; on l'introduit dans le premier foyer par une des parois latérales parallèles à la direction des deux cavités ; elle s'avance jusqu'au milieu, à 0^{m},15 environ du fond. Au bout d'une heure de vent, il arrive parfois que l'extrémité de cette tuyère est fondue, on la fait alors avancer vers le centre du creuset. Les ouvriers diminuent la chaleur qui leur vient du foyer, en élevant un petit mur sur la face où se trouve le soufflet.

Le minerai ayant été concassé en fragments de la grosseur d'une noisette, trié et arrosé d'eau, on s'en sert pour le chargement. Cette opération présente quelques particularités. On barre d'abord l'ouverture de communication des deux chambres par une paroi bien damée, formée de poussier de charbon, au-dessus duquel on tasse du laitier. On charge ensuite, sur le fond du creuset, une couche de charbon de 0^{m},07 d'épaisseur. Sur ce premier lit, on en pose un second de même épaisseur et composé de charbon sous la tuyère, de minerai en morceaux à droite et à gauche, enfin d'une bande de charbon encore le long du côté opposé au mur de poussier : de telle sorte, qu'en plan, l'aspect de ce lit serait composé de quatre zones alternativement de charbon et de minerai, placées parallèlement à la tuyère. On dispose, au-dessus de cette couche, une seconde couche semblablement hétérogène, mais dont le charbon sous la tuyère est en ignition ; on continue à charger de cette façon jusqu'à près de la gueule du creuset ; à ce point, on remplit de charbon le reste du vide, jusqu'au niveau de la paroi de séparation des deux chambres.

Le chargement étant opéré, on fait jouer le soufflet et l'on ajoute

du charbon à mesure qu'il s'affaisse. Après trois heures de vent, le minerai s'est aggloméré et forme, par conséquent, deux masses que l'ouvrier, avec son ringard, pousse de façon à avancer celle qui est voisine de la grande chambre vers cette chambre et à amener la seconde au centre du foyer. Dans cette nouvelle position, le métal de cette dernière masse gagne rapidement le fond; on y place ensuite l'autre, qui se conduit de même. La matière métallique, presque fluide, est brassée pendant un quart-d'heure environ. Cela fait, on arrête le vent, on renverse le mur de poussier pour frayer un passage aux scories qui s'écoulent alors dans la grande chambre, où l'on pousse également le charbon du foyer de réduction. La loupe se trouve ainsi à découvert; on la détache des parois, on la fait sortir du creuset, et à l'aide d'une tenaille on la dépose sur le sol de l'usine où l'on en exprime les scories à coups de masse; on la façonne après sur l'enclume.

On peut faire quatre opérations par jour; chacune d'elles donne 14 kil. de fer malléable, obtenu au prix du double de minerai et du triple de charbon. Ce rendement est dû à la grande richesse du minerai de Caradogh. D'après M. Robertson, ce fer est très-fort et surtout employé à fabriquer des fers à cheval et des clous pour les fixer. Les Arméniens et les Mahométans s'en partagent le commerce.

D'après le même auteur, au centre de l'Asie Mineure, sur la frontière de Syrie, près de la ville de Malatia, on emploie un procédé dans lequel on fait usage de fourneaux ayant la forme d'une petite coupelle. Le mode de traitement est probablement celui par lequel on produit l'excellent fer aciéreux des Indes : lorsque l'on a convenablement échauffé le petit fourneau, on projette dans le feu du minerai en poudre, après la fusion duquel on recueille, dans les cendres, des grains métalliques que l'on soude en pains sous un marteau de pierre.

Seconde Partie.

COMPARAISON DES MÉTHODES D'AFFINAGE

RELATIVEMENT A LA QUALITÉ DES FERS.

Si l'on cherche à comparer, dans les méthodes-types, les influences qui peuvent peser sur les qualités des fers, diverses séries de remarques se présentent, que l'on tire du mode même de fabrication et de la nature des matières dont il est fait usage. Mais ces moyens d'appréciation disparaissent presque entièrement lorsqu'on prétend comparer des procédés ressortissant à un même type. Les données dont le groupement contiendrait la solution, manquent ; les mémoires ayant trait à notre sujet et pouvant contenir d'ailleurs de précieux renseignements techniques, sont généralement dépourvus de détails sur la valeur du fer obtenu par les procédés qu'ils décrivent, et nous resterions, certes, au-dessous de la vérité, en disant que les cinq sixièmes des auteurs affirment que les produits qu'ils ont vu fabriquer sont de bonne qualité. D'autres fois, lorsqu'ils assistent à des traitements particuliers, à des essais exécutés par les inventeurs en vue de corriger les vices du fer au moyen de toutes sortes de substances, il est bien rare que le remède ne soit pas efficace ; dans ce cas, le fer n'était pas bon avant, mais il l'est après : n'avons-nous pas eu occasion de mentionner une de ces panacées qui contenait de l'acide sulfurique et qui, ceci est plus fort, avait trouvé quelqu'un pour annoncer ses bons effets !

Dire que le fer est bon, c'est probablement exprimer l'opinion de la plupart des chefs de fabrication, mais cela ne veut absolument rien dire : ce qui est excellent dans les conditions où se trouve une usine, peut n'être que passable dans une autre : toute chose est bonne relativement à d'autres choses, et ce sont justement les termes de comparaison qui font défaut. Pour établir convenablement un parallèle entre deux méthodes, il faudrait connaître, par l'analyse des fontes, la quantité et la nature des substances étrangères qu'elles contiennent, et, en second lieu, les épreuves auxquelles les fers produits ont résisté : si, par exemple, on a pu les plier, les tordre, à chaud et à froid ; si on a pu percer un trou sur une soudure, sur le bord d'une barre ; si on a pu façonner un anneau à une extrémité en travaillant la barre au marteau sur la bigorne, sans qu'il en soit résulté des gerçures, etc. La texture du fer est encore un caractère important : s'il est à grains fins, blancs et serrés, le fer est souvent pur, dur et tenace ; il n'en est plus de même quand les grains sont grossiers et brillants ; l'aspect de la fibre, dans les fers nerveux, est un indice de leur plus ou moins de résistance à la traction.

Ces renseignements, nous l'avons dit, font le plus souvent défaut. On ne peut guère en trouver davantage dans les comptes rendus des expositions qui ont eu lieu dans plusieurs pays : d'ailleurs, outre que beaucoup de produits sont travaillés exceptionnellement pour les expositions, ceux qui les apprécient sont parfois aveuglés par un faux esprit national. Mais où une mesure de quelque valeur se rencontrerait, c'est sur les marchés, où les différents fers sont en présence de l'intérêt de l'acheteur ; aussi, dans le cours de ce travail, avons-nous fait plusieurs fois usage de ce mode d'appréciation. Des groupements de chiffres de ce genre, cependant, ne constitueraient pas un examen tel que l'entend évidemment la question. Devant ces considérations, nous avons dû nous borner à comparer seulement les méthodes-types, en renvoyant, pour les procédés d'un même groupe, aux observations qui ont suivi souvent leur description.

La fabrication du fer poursuit, soit dans la fonte, soit dans le minerai qu'elle affine, l'élimination des matières qui, en souillant le métal, lui enlèvent les propriétés que réclament les arts. Avant de

rechercher avec quels succès relatifs les diverses pratiques atteignent ce but, il est bon de savoir quels vices la présence de chaque élément amène, et c'est ce que nous allons examiner.

Carbone et fer. — Le carbone est le corps qui, en s'unissant au fer, lui communique les propriétés les plus dissemblables et multiplie par là son emploi dans les arts. La manière dont cet élément se conduit, dans les différentes méthodes, devient donc un sujet d'observation de la plus haute importance.

Entre le fer pur et un certain degré de carburation, que les arts métallurgiques ne dépassent pas et qui est, d'après Karsten, de 5,25 p. °/₀, il est une série de combinaison de ces deux éléments. Sans qu'il soit rationnellement possible de tracer des lignes de démarcation dans cette série, on est cependant convenu de désigner sous le nom d'*aciers* les combinaisons les moins carburées, et sous celui de *fontes*, celles qui le sont le plus. Tous les fers, d'après les analyses de M. Gay-Lussac, en contiennent des quantités qui varient de 0,144 à 0,293 p. °/₀; ce corps donne au métal de la dureté, ce qui le rend précieux pour les pièces qui doivent résister à des frottements. Lorsqu'un fer en renferme 0,5 p. °/₀, il se rapproche de la nature des aciers : lorsque la dureté augmente, c'est en faisant tort à la malléabilité, à la ductilité et à la ténacité.

Soufre et fer. — Le soufre peut se rencontrer dans le traitement du fer, soit dans le minerai, soit dans le combustible, à l'état de pyrite. Son action sur le fer, auquel il s'unit aisément, a généralement été considérée jusqu'ici comme excessivement nuisible. Un fer qui en contient une trace est réputé *rouverin*, c'est-à-dire cassant à chaud. D'après M. Karsten, un fer ayant donné à l'analyse 0,03375 de soufre p. °/₀, avait perdu toute sa soudabilité : il se criquait au forgeage; un autre tombait en pièces sous le marteau; dans un troisième, qui paraissait d'une assez bonne qualité à froid, mais qui était rouverin, le même métallurgiste a trouvé 0,0001 de soufre; enfin, une certaine proportion de ce même corps pouvait rendre le fer cassant à chaud et à froid.

Cette manière de considérer l'action du soufre est généralement

admise ; cependant M. Stengel ne partage pas cette manière de voir. Selon ses analyses, un fer qui contiendrait de 0,32 à 0,40 p. °/₀ de soufre, ne se montrerait pas le moins du monde cassant à chaud ; il réserve pour le cuivre l'influence attribuée au soufre. Depuis 1836, époque où a paru, dans les *Archives* de Karsten, le mémoire de M. Stengel, on n'a pas discuté ces vues nouvelles et l'on a continué à admettre, comme véritables, les données de M. Karsten.

Phosphore et fer. — Le phosphore qui se trouve dans le fer peut provenir des phosphates des minerais, surtout des minerais d'alluvion, des fossiles du calcaire et des cendres des combustibles.

Il n'est guère de fer sans phosphore ; celui qui provient des meilleurs minerais en renferme au moins 0,2 p. °/₀. Cette quantité et même celle de 0,3 p. °/₀ ne produisent d'autre effet que de rendre le métal plus dur, sans diminuer sa ténacité. D'après M. Karsten, quand un fer en contient 0,66 p. °/₀, il se brise par la percussion, mais on peut encore le courber à angle droit et il ne doit pas être rangé parmi les fers cassants à froid ou *tendres*. La ténacité commence à diminuer d'une manière appréciable, par un contenu de phosphore de 0,75 p. °/₀ : alors il cède souvent aux épreuves ordinaires du choc et du ploiement. Si la teneur en phosphore s'élève à 0,8 p. °/₀, un grand nombre de barres cassent aux épreuves du choc et à 1 p. °/₀ les barres ne se laissent plus courber à angle droit. Au-dessus de cette quantité, le fer devient si mauvais, qu'il ne pourrait servir qu'à fort peu d'usages.

Les fers phosphoreux possèdent une grande soudabilité dans les températures élevées : ils sont mous, tendres et se travaillent avec beaucoup de facilité.

Arsenic et fer. — On admet aujourd'hui que l'arsenic des minerais passe dans la fonte et que ce corps agit sur le fer comme le phosphore, c'est-à-dire qu'il en augmente la dureté et l'aigreur.

Silicium et fer. — La présence du silicium nuit beaucoup aux qualités du fer ; ce corps rend les fers cassants à froid, et cette fragilité est causée par une faible quantité de cet élément, car il suffit de

0,37 p. % de silicium pour diminuer considérablement la ténacité : il est donc plus nuisible que le phosphore. Il rend, en outre, le fer plus dur, plus fusible et plus facilement oxydable.

La fonte en contient d'autant plus qu'elle a été produite à une température plus élevée.

Manganèse et fer. — Le manganèse se rencontre très-souvent dans les minerais de fer, principalement dans les fers spathiques et dans les hématites brunes. La présence de ce corps semble rendre l'union du fer et du carbone plus difficile à détruire. Lorsqu'il n'est pas en très-forte proportion, il durcit le fer sans modifier les autres propriétés ; celui-ci est alors à grains fins et très-propre à certaine fabrication, telle que celle des faux. En trop grande quantité, il rendrait le fer rouverin.

Aluminium et fer. — Si l'on s'en rapportait aux expériences de MM. Stadart et Faraday, une petite dose d'aluminium ne serait pas nuisible à la qualité du fer. Ces chimistes ayant trouvé dans l'acier des Indes, appelé *wootz*, environ 0,024 p. % de ce métal terreux, lui attribuèrent les bonnes qualités du *wootz* ; puis, procédant par synthèse, il préparèrent un acier aluminifère qui, disent-ils, possédait les mêmes propriétés que l'acier des Indes. Les travaux de M. Karsten lui ont donné des résultats tout différents. Ce savant métallurgiste, qui a jeté tant de lumière sur ces points intéressants, a fait ajouter de l'argile à la fonte pendant l'affinage : l'analyse du fer n'a donné qu'une trace d'alumine, mais on a toujours remarqué que les plus fortes traces se rencontraient dans les fers cassants à froid : on a donc raison de croire que l'aluminium exerce une mauvaise influence sur la ténacité du fer.

Calcium et fer. — M. Karsten, par des additions de marbre de Carrare pur, pendant l'affinage d'une fonte, a obtenu un fer qui avait gagné en ténacité ; mais l'analyse a fait voir qu'il ne contenait pas la plus petite trace de calcium : il faut donc admettre que le marbre s'est borné à enlever les substances nuisibles, ainsi que nous l'avons indiqué maintes fois.

On a ajouté, dans d'autres essais, une grande quantité de carbonate de chaux, à plusieurs reprises et pendant toute la durée du travail ; le fer avait perdu une partie de sa ténacité, il était devenu moins soudable. Il n'était pas réellement cassant à chaud ou à froid, mais il était pailleux et traversé de fentes longitudinales. M. Karsten a trouvé dans ce fer, par l'analyse, 0,1774 p. % de calcium, ce qui correspond à 0,246 de chaux.

Les *métaux alcaligènes* ne s'unissent pas davantage au fer dans les travaux métallurgiques. M. Karsten a expérimenté, en ajoutant à un affinage 5 ou 6 p. % de potasse et de soude; le fer devint moins tenace ; mais les praticiens n'ont pas à se préoccuper de ces résultats, ils ne se trouveront jamais en présence d'une aussi grande quantité d'alcali. Nous avons attribué à ces substances un rôle tout spécial, compatible avec leur absence que l'on constate dans les laitiers, dans la fonte et dans les gaz des hauts fourneaux.

Nous n'avons pas à nous occuper davantage des métaux terreux qui n'ont pas été cités.

Cuivre et fer. — Le cuivre peut provenir de quelque minerai, ou bien de la fusion d'une partie de la tuyère appartenant à un feu d'affinerie. Son effet est de diminuer la résistance et la soudabilité du fer; il a été étudié par M. Karsten qui, ayant fait ajouter à un affinage, 1 p. % de cuivre, en trouva 0,286 p. % dans le fer produit. M. Stengel attribue à la présence du cuivre les vices que l'on reproche à l'action du soufre.

Antimoine et fer. — Les minerais qui contiennent l'antimoine sont rares, mais il en existe. Dans les essais qui ont été faits aux forges de Creutzbourg (Haute-Silésie), on a ajouté à la fonte 1 p. % d'antimoine; malgré sa volatilité, ce métal s'était associé au fer pour 0,23 p. % et le rendait très-cassant à chaud et à froid. Un fer naturel et présentant une teneur d'antimoine de 0,114 p. %, était aussi très-fragile.

Malgré l'abondance des minerais calaminaires, le *zinc* n'a pas d'influence, par la raison qu'il s'échappe, en vapeurs blanches, du gueulard des hauts fourneaux.

Étain et fer. — Mais *l'étain* mérite une mention spéciale, parce qu'on peut le rencontrer, sous la forme du fer-blanc, par exemple, dans la ferraille qu'on affine. D'après des essais faits en Silésie, ce métal rend le fer très-fragile à froid, sans le rendre rouverin. L'analyse a montré qu'une proportion de 0,19 p. % produit cet effet; il faut donc s'en défier et trier la ferraille avec soin.

Le *titane* est renfermé dans plusieurs minerais du Nord; on en a trouvé dans ceux qu'on exploite à Grivegnée et à Seraing. Les fers n'en contiennent que des traces qui, loin de nuire, leur donne du corps et de la ténacité.

La *galène* se rencontre dans les minerais de fer, mais le *plomb* ne se combine jamais avec le fer. On n'a pas à s'occuper davantage du *nickel* ou du *cobalt :* leur influence est nulle. On pense que le *chrôme* de certains minerais, rares du reste, rend le fer un peu rouverin.

Nous arrêterons ici ces considérations. C'est uniquement au point de vue des usines et surtout dans le but d'apprécier les méthodes, que nous avons examiné l'action de divers éléments sur le fer malléable; or, ceux dont il n'a pas été parlé ne se rencontrent pas dans le travail des forges : le métallurgiste n'a donc nullement à s'en préoccuper.

En traitant de l'influence du soufre sur les qualités du fer, nous avons dit que l'on nommait fers *rouverins*, ceux qui cassaient aux épreuves à chaud; ces fers sont de couleur moins claire et moins brillante que les autres, ils peuvent avoir du nerf, mais sous des efforts ils se criquent transversalement.

En traitant de l'influence du phosphore, on a parlé des fers *tendres*, qui plient à chaud et cassent à froid; ces derniers présentent, dans une cassure fraîche, des grains plats à facettes, brillants et d'un blanc légèrement jaunâtre.

Dans les usines on connaît encore les fers sous d'autres dénominations. Les fers *forts* sont ceux qui plient à chaud et à froid sans se rompre, sans se gercer; les fers forts ont un nerf franc; cependant s'ils n'ont pas été convenablement travaillés, ils peuvent être à texture grenue; si le fer fort est *dur*, les grains, s'il est à grains,

sont plus petits, plus clairs, plus aciéroux que dans le fer fort et *mou*, et lo norf, s'il est à nerf, offro un aspect plus argentin. Le fer fort. dans sa cassure, est toujours légèrement bleuâtre et présente des aspérités, des arrachements; on attribue à du carbone qui est resté, ce qu'il a d'aciéreux, et il est considéré comme d'autant meilleur qu'il a le nerf plus long, d'une finesse plus uniforme et d'un blanc plus brillant.

Les fers *brûlés* se conduisent à froid comme les fers tendres, mais on peut les traiter à chaud comme on ferait de fers forts et durs; leur texturo à facettes est brillante et blanche, avec un faible ton bleuâtre; ils sont produits par un départ accéléré et radical du carbone, et contiennent une dose do silicium qui produit sur la masse, ainsi quo nous l'avons dit, un affaiblissement de la résistance à froid.

On nomme fers *métis*, ceux qui, par leurs qualités, tiennent lo miliou entre les fers forts et les autres fers.

Examen comparatif de la méthode anglaise et de la méthode allemande.

Après avoir exposé l'influence des matières nuisibles sur le fer, il reste à apprécier les chances relatives d'épuration que présente chaque méthode-type.

La qualité d'un fer dépend de deux choses :

1° De la nature des matières premières;

2° Du procédé à l'aide duquel on l'a produit.

C'est sous ce double point do vue que nous allons envisager les deux types de fabrication qui soumettent les fontes à l'affinage.

Sous lo rapport des matières premières, un désavantage marqué et constant so manifeste du côté de la méthode anglaise. La fonte que l'on y traite vient de hauts fourneaux marchant au charbon minéral. Or ce combustiblo, qui s'emploie également dans les diverses phases de la fabrication du fer, est toujours plus on moins pyriteux; il en résulte que les fontes sont plus ou moins sulfureuses et que le fer

court risque d'être rouverin. Ce défaut, le combustible végétal ne le présente pas. Là, ne s'arrête pas les effets du charbon de terre : quatre variétés de coke, soumises à l'analyse par M. Berthier, ont donné de 11 à 28 p. °/₀ de cendres, tandis que le charbon de bois n'en contient en moyenne que 3 ou 4 p. °/₀ ; de plus, la nature des premières est beaucoup plus nuisible que celle des secondes. Celles-ci, en effet, ne contiennent en moyenne que 8 p. °/₀ de silice, beaucoup d'alcali, et pas du tout d'alumine ; par contre, les cendres du coke renferment 50 p. °/₀ de silice, 25 p. °/₀ d'alumine et pas d'alcalis, toutes circonstances défavorables à l'obtention d'un produit bien pur. Mais l'effet le plus défavorable causé par le combustible minéral, c'est qu'il porte le haut fourneau à une température supérieure à celle qu'y produit le charbon de bois ; car cette élévation de température est favorable à la réduction de la silice, elle détermine par conséquent l'union du silicium avec le fer, et c'est ainsi que l'on peut obtenir des fontes contenant jusqu'à 4 p. °/₀ de silicium. Ce qui vient d'être dit pour la silice, peut s'appliquer également à d'autres substances. D'un autre côté, une haute température a aussi pour effet d'unir plus fortement le fer et le carbone et par conséquent de rendre l'affinage plus difficile. Il va sans dire que ces résultats seraient exaltés par un soufflage à l'air chaud. D'après ce qui précède, il semblerait que les fontes grises au coke, qui sont produites par une haute température du fourneau, doivent être moins favorables à l'affinage que les fontes blanches ; cela n'est pas cependant, par la raison que si une grande chaleur amène dans la fonte certaines substances, elle en élimine d'autres, le soufre par exemple ; et comme il est plus aisé de se débarrasser du silicium que de ce dernier, ce sont au contraire les fontes grises ou truitées qui devront être préférées, lorsqu'elles auront été produites par des matières sulfureuses : les fontes blanches se décarbureraient avant l'élimination complète des matières étrangères.

Les fontes au bois élaborées à une moindre température, à l'aide d'éléments plus purs, donnent, du côté des matières premières, une supériorité importante à la méthode allemande.

Examinons maintenant le travail des deux méthodes.

Si la méthode anglaise emploie des matières plus impures, elle fait usage par contre d'appareils plus parfaits. Sans nous occuper de la préparation que la fonte subit au feu de finerie et qui, du reste, est indispensable pour les fontes phosphoreuses, nous comparerons le four à puddler, où a lieu réellement l'affinage, au foyer d'affinerie. Étendue sur la sole du premier, la matière en élaboration se livre aisément au travail : l'ouvrier a toujours le métal en vue, l'aspect de la masse lui indique à chaque instant les parties qui demandent un complément d'épuration ; c'est-à-dire que c'est par l'œil, le plus délicat de ses organes, que le puddleur juge de l'état de sa manipulation, qu'il la conduit et l'améliore en cherchant à obtenir une homogénéité complète. L'affineur à l'allemande au contraire, ne voit pas le métal, car le charbon le recouvre ; il est forcé, pour guider son travail, de s'adresser au plus imparfait de ses sens, au tact : c'est en sondant, en appréciant la consistance du bain, qu'il parvient à se faire une idée de la marche de son opération. La supériorité appartient donc au four de puddlage. Il présente cependant quelques points fâcheux : d'abord, le combustible, par sa nature même, est nuisible ; ensuite, la quantité de cendres qu'il contient expose à ce qu'une partie en soit entraînée sur la sole ; enfin, le travail exige que l'on pétrisse ensemble, pour ainsi dire, le fer et les scories, ce qui doit nuire à la texture du fer. Mais le foyer d'affinerie de son côté, ne livre pas également toutes les parties de la masse à l'action des scories, de là vient que certains points sont plus affinés que d'autres, ce qui rompt l'uniformité de la pâte. Enfin, pour juger la manière dont se comportent les matières étrangères dans les deux méthodes, nous ne pouvons mieux faire que de citer le résultat d'un essai que rapporte Karsten (1) et qui a été pratiqué à Skebo, en Suède.

On a fait puddler par des ouvriers anglais et avec de la houille anglaise, de la bonne fonte, sans la faire passer en finerie : le fer obtenu ne valait pas celui que l'on produisait au charbon de bois : il se fendait plus facilement. Il eût mieux valu, pour comparer exactement, finer la fonte avant de la puddler, car les ouvriers anglais,

(1) *Archives métallurgiques*, t. VII, p. 381.

accoutumés au travail du fin métal, se trouvaient travailler une fonte inconnue. Quoi qu'il en soit, d'autres faits encore et le raisonnement autorisent à conclure qu'une fonte exempte de vices donnerait un fer moins bon par l'affinage anglais que par l'affinage allemand, et qu'en revanche, le traitement au puddlage d'une mauvaise fonte fournirait un fer préférable à celui que pourrait produire l'affinage au bois.

Il reste à établir un parallèle entre les moyens mécaniques employés par chaque méthode pour faire prendre corps au fer et lui donner les qualités qui le rendent le plus utile des métaux.

La méthode allemande forme les barres au marteau, la méthode anglaise cingle les loupes au marteau et les étire au laminoir. Nous ne nous occuperons que de ces deux appareils, nous rapportant pour les autres à ce qui a été dit lors de leur description.

Le choc du marteau expulse les scories beaucoup mieux que l'action extensive du laminoir. Il résulte de là et de la manière dont les loupes ont été imbibées de laitier au four de puddlage, que les fers laminés et à la houille retiennent toujours quelque peu de scories dans leur pâte, malgré le poids des marteaux de cinglage, qui est beaucoup plus considérable que celui des marteaux que l'on rencontre dans les forges à l'allemande. Cette circonstance diminue la soudabilité ; on peut y remédier, il est vrai, par des chaudes suantes et des corroyages répétés ; mais il en résulte des dépenses incompatibles avec l'économie commerciale ; aussi remarque-t-on toujours que le nerf du fer à l'anglaise est gris et comme saupoudré de scories, tandis que le fer à l'allemande, quand il l'a, présente un nerf éclatant et compacte.

Sous le rapport de la compacité qu'acquiert le fer, l'avantage est encore au marteau. Par son action brusque, irrésistible, après avoir exprimé violemment les scories, il soude bien mieux les parties ferreuses mises en contact, que ne le fait la compression du laminoir. Ce dernier appareil, en outre, ne permet pas, comme le premier, de refouler les loupes par bout. Ces points sont importants dans les arts : un fer compacte convient pour la cémentation ; il est préférable de beaucoup, quand il doit résister à certaines actions chimiques, par

exemple à l'action de l'eau de mer : aussi emploiera-t-on du fer martelé pour la construction des navires, des ancres, etc.

En revanche, les barres passées aux cylindres jouissent d'une plus grande homogénéité que celles qui ont été façonnées au marteau et l'on sait qu'avec l'homogénéité, varie aussi l'élasticité et la ténacité. La raison de ce résultat réside dans la lenteur inhérente au travail de l'instrument de percussion; il arrive, comme conséquence, que les diverses parties de la barre reçoivent des chocs à des époques assez distantes pour que les températures correspondantes soient sensiblement différentes, et il en résulte des états physiques tels que deux coups de marteau ne produisent plus le même effet en deux points de la barre : un forgeage au marteau commencé au rouge blanc, s'achève quelquefois au rouge obscur, de là l'hétérogénéité. Cela ne se présente pas au laminoir : la barre franchit chaque cannelure avec une rapidité qui ne laisse pas à l'observateur le temps de se demander si la température a pu varier en différents points. Le fer martelé présente plus de défectuosités, telles que cendrures, pailles, criques, que le fer laminé.

Quant à la texture, le fer que donne la méthode anglaise est le plus souvent nerveux, et comme cette qualité se développe au laminage, elle sera d'autant plus prononcée que l'étirage aura été poussé plus loin, c'est-à-dire que les échantillons seront plus petits. Bien que le passage aux cylindres développe ce genre de constitution dans les barres, elle est cependant plus sérieusement dépendante de la nature du fer, et au puddlage déjà, la ductilité plus ou moins grande de la pâte peut indiquer à l'ouvrier exercé si le fer sera nerveux ou grenu. La texture grenue est parfois un indice d'un travail imparfait, et tels seront souvent, par exemple, les fers tendres ou phosphoreux, les fers secs ou brûlés qui contiennent trop de silicium et les fers aciéreux. Le grain, au contraire, s'obtient ordinairement dans les fers à l'allemande : dans cet état, ils sont très-recherchés pour la tréfilerie, pour le charronnage, pour tous les usages, en un mot, où ils doivent être fortement travaillés à la petite forge.

Enfin, les autres caractères qui méritent d'être signalés sont ceux-ci : la méthode anglaise traite, dans ses fours et dans le même temps,

quatre fois plus de matière que la méthode allemande ; les laminoirs produisent des pièces d'une netteté remarquable, sans exiger des ouvriers la grande habileté que doit posséder un bon marteleur.

En jetant un coup d'œil d'ensemble sur les deux méthodes, on arrive aux conclusions suivantes :

Le fer au bois est supérieur, en qualité, au fer à la houille ; non pas parce que les manipulations que l'on emploie pour le produire sont plus parfaites, mais bien à cause de la pureté des matières premières qui le fournissent.

Les usines à l'anglaise présentent une certaine complication d'appareils, tant dans la partie chimique que dans la partie mécanique du travail. Mais cette complication n'est autre chose que l'expression matérielle de la division du travail, et la division du travail est un progrès dans toutes les industries : elle donne plus d'aptitude aux ouvriers, elle économise le temps, produit davantage et abaisse les prix.

Dans un autre ordre de considérations, l'emploi de la houille est préférable à celui du bois, car l'exploitation de ce dernier combustible amène de graves inconvénients. Les industriels, en voyant varier continuellement le siége d'approvisionnement, sont sous le coup d'une perturbation dans les prix de revient et d'une incertitude préjudiciable à la stabilité de leur industrie, attendu que les transports sont très-dispendieux. D'un autre côté, le bois ne peut suivre les développements des ateliers qui l'emploient, car la consommation qu'on en peut faire est limitée. Aussi, sous l'empire de ces considérations, voit-on s'élever en France des usines où l'on travaille avec les deux combustibles. La houille, au contraire, qui est moins chère et qui, à poids égal, possède une capacité calorifique double, ne fait jamais défaut aux approvisionnements. Aussi, la fabrication des fers au bois perd-elle de son importance et n'est-ce plus que pour des travaux spéciaux qu'on fait usage des fers de qualité supérieure.

Ces industries spéciales ont, du reste, des exigences particulières dans lesquelles leur succès semble engagé ; il est même des circonstances naturelles que l'art est impuissant à remplacer et qui donnent à certaines contrées le monopole d'une classe de produits. C'est ainsi

que l'Angleterre, malgré son immense génie industriel, est toujours tributairo de la Suède et de la Russie, pour l'alimentation des aciéries du Yorkshiro. Le fer de Suède emprunto, en effet, au minerai qui le fournit, des qualités exceptionnelles et pour ainsi dire locales : les mines de Danemora, sans égales dans le monde, livrent un fer doué d'une sorte de propension aciéreuse par laquelle l'acier qui en provient, étant ouvré, a de la dureté, de l'éclat et de la vivacité dans le tranchant. De là vient que le fer de Suède, daus la fabrication duquel, du reste, on ne lésine pas sur le charbon, est de qualité d'élite tout à fait hors ligne, et cela fait aisément comprendre aussi comment ce pays peut fabriquer dix fois plus de fer qu'il n'en consomme : l'exportation s'en fait jusqu'en Amérique, jusque dans les Indes orientales, jusqu'en Chine. Parmi ces pays, il faut exceptionnellement remarquer les États-Unis, où aboudent des minerais riches et où cependant toutes les tentatives faites à l'aide des meilleures mines des États de New-York, de New-Jersey et de Pensylvanio ot même avec les excellentes hématites brunes du Connecticut, n'ont pu conduire à l'affranchissement du tribut que l'on paye à la Suède.

Considérations sur les méthodes directes.

Nous prendrons pour type la méthode catalane et nous y rapporterons les observations qui suivent.

Quels sont les avantages et les inconvénients que présente la méthode directe appliquée au traitement des minerais de fer, relativement à celle qui fait usage du haut fourneau et du feu d'affinerie?

La méthode directe ne traite que des minerais remarquables par leur richesse et par leur pureté : ce sont des fers spathiques, des fers spathiques décomposés, des hématites brunes, tous aisément fusibles par la quantité de manganèse qu'ils contiennent; enfin, il faut l'oligiste de l'île d'Elbe aux forges de la Corse, comme il faut aux usines de la frontière franco-espagnole les mines de Baïgorry, de Batère et du Canigou, dans les Pyrénées, ou de Rancié, dans l'Ariège, et à celles de l'Amérique, les minerais du Connecticut. C'est là une nécessité de la méthode; mais un point plus grave, c'est qu'on y

prodigue ces excellentes mines : on n'a qu'à jeter un coup d'œil sur le tableau relatif à l'élaboration du minerai de Rancié, pour voir que les quarante centièmes du minerai s'en vont en scories et que celles-ci contiennent encore 31 p. % de fer métallique. Un tel état de choses indique assez que ce genre de travail ne peut prendre des développements en restant dans de pareilles conditions.

Les avantages de ce mode d'exploitation se manifestent dans la simplicité du matériel, qui n'exige qu'une faible mise de fonds ; peut-être aussi la consommation du combustible, dans une fabrication bien conduite, est-elle un peu moindre que dans la méthode des hauts fourneaux et des feux d'affinerie ; enfin, par ce procédé, on peut produire à volonté du fer ou de l'acier.

Quant aux produits, ils sont purs comme les matières premières qui les donnent : la température à laquelle on opère ne peut déterminer l'association du fer avec les substances nuisibles. Le fer des méthodes directes est toujours un peu aciéreux, ce qui le fait ranger parmi les fers durs ; il a du nerf et se comporte mieux au forgeage qu'au laminage. Cela se conçoit, du reste : par la disposition de la masse minérale dans le foyer et la manière dont se forme la loupe, la partie extérieure de celle-ci est légèrement carburée, tandis que l'intérieur est plus doux ; or les cylindres ne font qu'étendre les parties aciéreuses à côté des autres, tandis que le marteau les entortille et diminue par là le manque d'homogénéité de la pâte sans l'affranchir cependant d'une réputation d'inégalité.

Les fers des fourneaux catalans ne sont pas bons pour des ouvrages délicats, tels que les ferrures de roues ; par contre, ils conviennent fort bien pour les pièces de résistance, les instruments d'agriculture, les essieux de charrette, etc. On les emploie également pour la cémentation, mais ils sont bien loin de pouvoir prétendre à rivaliser avec les bons fers du Nord, car les aciéries françaises, qui payeraient 107 francs les meilleures marques de Suède, n'offrent que 46 francs pour les fers des Pyrénées.

FIN.

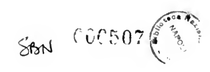


TABLE DES MATIÈRES.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

fig 14

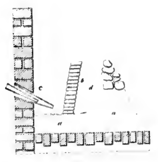
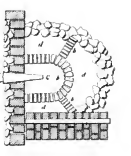


fig 15.



Échelle de 0.01 par mètre pour les fig 9 et 10

Échelle de 0.0125 par mètre pour les fig 3, 4, 5, 6, 7 et 8.

Échelle de 0.025 par mètre pour les fig 1, 2, 11, 12, 13, 14 et 15



fig 11

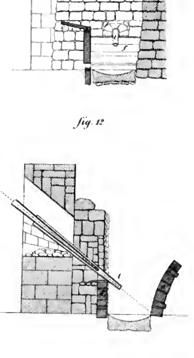


fig. 12

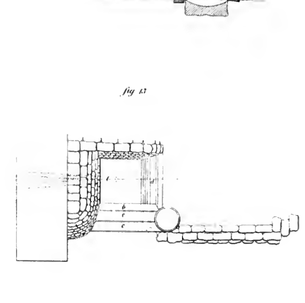
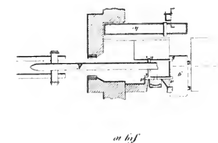
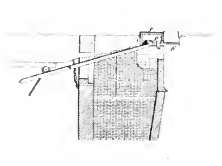


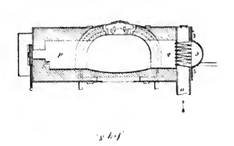
fig 13



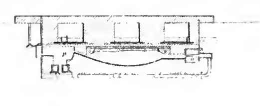
5 bis



6 bis

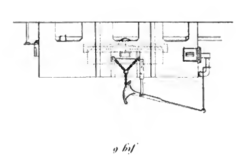


8 bis





2 bis



9 bis



fig 4

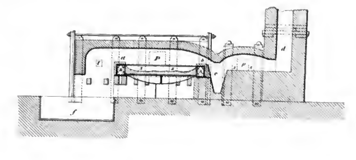
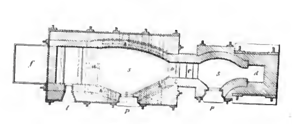
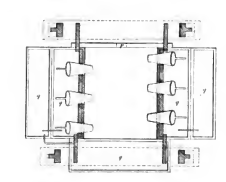
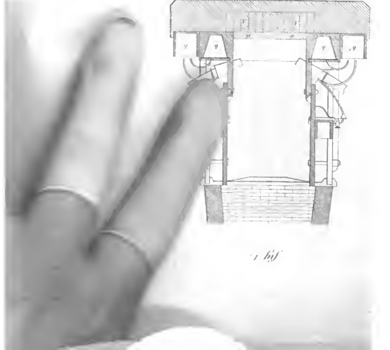


fig 3





2 bis



1 bis

fig 14

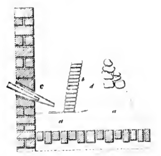
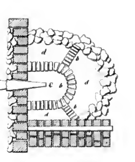


fig 15.



Échelle de 0.01 par mètre pour les fig 9 et 10

Échelle de 0.0125 par mètre pour les fig 3, 4, 5, 6, 7 et 8.

Échelle de 0.025 par mètre pour les fig 1, 2, 11, 12, 13, 14 et 15

fig. 11

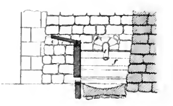


fig. 12

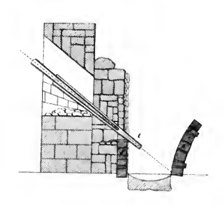
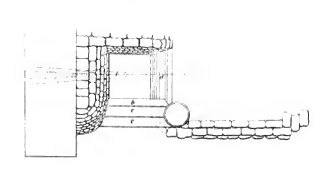
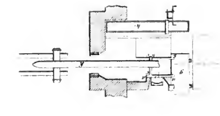
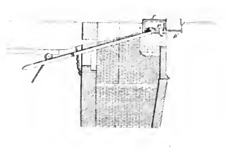


fig. 13.

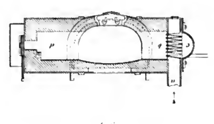




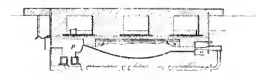
a bis



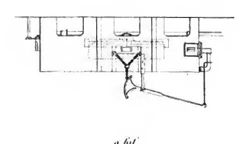
b bis



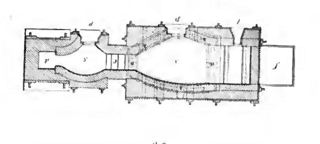
5 bis



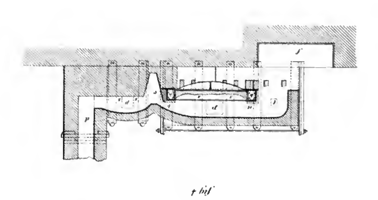
2 bis



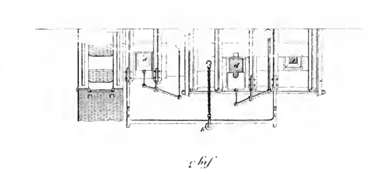
9 bis



[illegible] bis



[illegible] bis



[illegible] bis

fig 1.

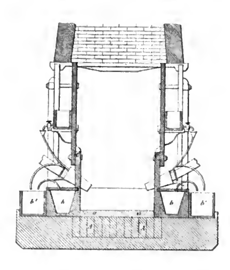


fig 2

